



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**Katedra konstrukcí pozemních staveb**

**Analýza hydroizolačních technologií pro sanaci historických objektů**

**Analysis of waterproofing technologies  
for rehabilitation of historic buildings**

**DISERTAČNÍ PRÁCE**

**Ing. Denisa Boháčová**

Doktorský studijní program: Pozemní stavby

Studijní obor: Pozemní stavby

Školitel: doc. Ing. Eva Burgetová, CSc.

**Praha, 2021**



## PROHLÁŠENÍ

Jméno doktoranda: Ing. Denisa Boháčová

Název disertační práce: Analýza hydroizolačních technologií pro sanaci historických objektů

Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracovala samostatně pod vedením školitelky doc. Ing. Evy Burgetové, CSc.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 25.8.2020

.....  
podpis



---

## PODĚKOVÁNÍ

Srdečně děkuji své školitelce paní doc. Ing. Evě Burgetové, CSc. za její cenné rady, laskavý přístup, ochotu a předání mnoha zkušeností nejen při zpracování disertační práce. Jen těžko lze vyjádřit slovy poděkování za její podporu v těžkých životních situacích a nesmírnou pomoc na cestě za splněním mých cílů.

Poděkování patří i mému prvnímu školiteli panu prof. Ing. Richardu Wasserbauerovi, DrSc, který mi otevřel bránu do světa vědeckého bádání a podnítil mou zvědavost. Vždy si budu pamatovat, že nic není nemožné a studium je záležitostí na celý život.

Děkuji členům Katedry konstrukcí pozemních staveb a všem, kteří se podíleli na zpracování laboratorních experimentů.

Dále bych chtěla poděkovat mé rodině, příteli a mým blízkým za jejich trpělivost a podporu během studia. Děkuji mému tatínkovi a dědovi, kteří mě vždy hluboce podporovali a s neutuchajícím entusiasmem mě učili stavitelskému umění.



---

## ABSTRAKT

**Klíčová slova:** rekonstrukce, historické objekty a mosty, analýza, terénní průzkumy, laboratorní analýzy, moderní technologie, historické technologie, hydroizolace, elastomerní polyurea

Práce se zabývá experimentálním ověřením vybraných vlastností materiálu elastomerní polyurey jak laboratorně, tak in-situ a analýzou možnosti použití těchto moderních i speciálních tradičních technologií při rekonstrukci historických objektů a mostů. Jedná se o nové hydroizolační materiály a technologie, na našem trhu dosud nepoužívané. Byly analyzovány především možnosti aplikace hydroizolačního materiálu na historických objektech a důraz byl kladen na zhodnocení rizikových faktorů. Jedná se o první aplikace na území ČR.

V práci jsou zahrnuty poznatky ze spolupráce s NPÚ a Správou Pražského hradu, z níž vyplývají některé požadavky na použití tradičních technologií. Vše je prezentováno v případových studiích, které obsahují podrobnou analýzu historických objektů, terénní průzkumy a laboratorní analýzy odebraných vzorků, na základě jejichž výsledků je navržena rekonstrukce. V práci jsou uvedeny vybrané památkově chráněné historické objekty a mosty. Hlavním výstupem je optimalizace návrhu sanačních metod.

## ABSTRACT

**Keywords:** reconstruction, historic buildings and bridges, analysis, field surveys, laboratory analysis, modern technologies, historic technologies, waterproofing, elastomeric polyurea

The thesis deals with experimental verification of selected properties of elastomeric polyurea material both in laboratory and in-situ and analysis of the possibility of using these modern and special traditional technologies in the reconstruction of historic buildings and bridges. These are new waterproofing materials and technologies not yet used in our market. In particular, the possibilities of applying waterproofing material (elastomeric polyurea) on historic buildings were analysed and emphasis was placed on assessing risk factors. These are the first applications in the Czech Republic.

The thesis includes knowledge from cooperation with the NPÚ and the Prague Castle Administration, which implies some requirements for the use of traditional technologies. All are presented in case studies, which include detailed analysis of historical buildings, field surveys and laboratory analyses of samples taken, on the basis of which a reconstruction is proposed. The thesis lists selected heritage-listed historic buildings and bridges. The main output is optimizing the design of remediation methods.



## Seznam použitých zkratek a symbolů

[1]		odkaz na seznam použité literatury
W	(%)	vlhkost
PD		Projektová dokumentace
HPM		Hlavní prohlídka mostu
$m_1$	(g)	hmotnost zkušebního tělesa ve stavu vlhkém
$m_2$	(g)	hmotnost zkušebního tělesa po vysušení
T	(°C)	teplota
MSÚ		mezní stav únosnosti
MSP		mezní stav použitelnosti
MS		mezní stav
ZS		zatěžovací stav
XC1		třída prostředí u betonových konstrukcí
$\Sigma$		kombinovaný účinek (u MS)
$\xi$		redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení = 0,85
$Q_{k1}$		charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
$\gamma_{Q1}$		dílčí součinitel pro hlavní nahodilé zatížení = 1,5
$\gamma_{Qi}$		dílčí součinitel pro vedlejší nahodilé zatížení = 1,5
$\gamma_{Gj}$		dílčí součinitel pro stálá zatížení = 1,35
$\gamma_p$		dílčí součinitel pro předpětí = 1
tl.	(m)	tloušťka
A	(m <sup>2</sup> )	plocha
$M_{ed}$	kNm	působící ohybový moment
$M_x$	kNm	moment ve směru x
$M_y$	kNm	moment ve směru y
$\rho$	(kg/m <sup>3</sup> )	objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti
U	(W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )	součinitel prostupu tepla
R	(m <sup>2</sup> ·K/W)	tepelný odpor
$R_{si}$	(m <sup>2</sup> ·K/W)	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
$R_{se}$	(m <sup>2</sup> ·K/W)	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
$\Lambda$	(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	součinitel tepelné vodivosti
a	(m <sup>2</sup> /s)	součinitel teplotní vodivosti
$\alpha$	(W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )	součinitel přestupu tepla
Q	(J)	teplo
q	(J·kg <sup>-1</sup> )	měrné teplo
c	(J/kg·K)	měrná tepelná kapacita
$\mu$	(-)	faktor difúzního odporu
$\lambda_d$	(s)	spárová difúzní vodivost
$fR_{si}$	(-)	nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu
$fR_{si cr}$	(-)	kritický teplotní faktor vnitřního povrchu
R	(dB)	vzduchová neprůzvučnost
Rw	(dB)	index vzduchové neprůzvučnosti/ vážená stavební neprůzvučnost
$\delta$	(s)	součinitel difúzní vodivosti
D	(m <sup>2</sup> /s)	součinitel difúze vodní páry
NK		nosná konstrukce (u popisu mostů)



## Obsah:

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>13</b>
<b>3 METODY PRÁCE</b> .....	<b>15</b>
<b>4 TRADIČNÍ TECHNOLOGIE SANACÍ STAVEB PROTI VLNKOSTI</b> .....	<b>18</b>
4.1 Tradiční ochrana staveb proti účinkům vlhkosti .....	18
4.1.1 Stručné shrnutí hlavních tradičních technologií ochrany stavby proti vlhkosti .....	20
<b>5 PŘÍPADOVÉ STUDIE - PRŮZKUMY, DIAGNOSTIKA STAVEB A NÁVRHY REKONSTRUKCE SE ZAMĚŘENÍM NA VYUŽITÍ TRADIČNÍCH TECHNOLOGIÍ</b> .....	<b>24</b>
5.1 Obnova historické obvodové zdi obory Hvězda .....	24
5.1.1 Základní charakteristika objektu .....	24
5.1.2 Stavebně technický průzkum .....	25
5.1.2.1 Vizualní hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy .....	26
5.1.2.2 Diagnostika s výsledky .....	26
5.1.2.3 Analýza vlhkosti .....	27
5.1.2.4 Chemická analýza - salinita zdiva .....	27
5.1.3 Shrnutí příčin poruch .....	27
5.1.4 Návrh obnovy .....	27
5.1.5 Realizace obnovy .....	30
5.1.6 Zhodnocení rekonstrukce a jejich rizikových faktorů .....	32
5.2 Rekonstrukce Šlikova hrádku (Freudenstein) a přírodního amfiteátru .....	32
5.2.1 Stručný stavebně historický průzkum .....	33
5.2.2 Základní charakteristika objektu.....	33
5.2.3 Stavebně technický průzkum.....	33
5.2.3.1 Vizualní hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy.....	34
5.2.3.2 Analýza vlhkosti zdiva .....	34
5.2.3.3 Chemická analýza- salinita zdiva .....	36
5.2.3.4 Analýza omítek – ÚTAM .....	37
5.2.4 Shrnutí příčin poruch .....	39
5.2.5 Návrh rekonstrukce Šlikova hrádku .....	40



5.2.6 Zhodnocení rekonstrukce a jejich rizikových faktorů .....	41
5.3 Rekonstrukce historického mostu v lokalitě Portz Insel .....	43
5.3.1 Základní charakteristika objektu .....	43
5.3.2 Stručný stavebně historický průzkum .....	44
5.3.3 Stavebně technický průzkum - provedené průzkumy .....	45
5.3.3.1 Vizuální hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy a zjištěné degradace .....	45
5.3.3.2 Analýza a stanovení únosnosti mostu .....	46
5.3.3.3 Analýza vlhkosti .....	48
5.3.4 Shrnutí příčin poruch .....	49
5.3.5 Návrh rekonstrukce dle projektové dokumentace .....	49
5.3.6 Realizace rekonstrukce mostu .....	53
5.3.6.1 Průzkumné práce .....	53
5.3.6.2 Provedené práce .....	53
5.3.7 Zhodnocení rekonstrukce a jejich rizikových faktorů .....	57
5.4 Rekonstrukce objektu č.p.73 (Císařský špitál sv. Antonína) v Kanovnické ulici na PRAŽSKÉM HRADĚ .....	58
5.4.1 Základní charakteristika objektu .....	58
5.4.2 Stavebně technický průzkum – provedené průzkumy.....	59
5.4.2.1 Vizuální hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy a zjištěné degradace .....	59
5.4.2.2 Analýza vlhkosti .....	60
5.4.2.3 Mykologický průzkum .....	62
5.4.3 Stručný návrh rekonstrukce .....	63
5.4.4 Zhodnocení rekonstrukce a jejich rizikových faktorů .....	64
<b>6 MODERNÍ TECHNOLOGIE REKONSTRUKCÍ STAVEB SE ZAMĚŘENÍM NA ANALÝZU HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU NA BÁZI ELASTOMERNÍ POLYUREY .....</b>	<b>65</b>
6.1 Úvod .....	65
6.1.1 Současné metody sanace vlhkého zdiva .....	65
6.1.2 Moderní technologie ochrany staveb proti vlhkosti .....	66
6.1.2.1 Bezpovlakové systémy .....	66
6.1.2.2 Povlakové systémy.....	67
6.2 Obecné vlastnosti hydroizolačního materiálu (elastomerní polyurea) .....	68
6.3 Experimentální analýza hydroizolačního materiálu (elastomerní polyurea) .....	71
6.3.1 Stanovení tahových vlastností .....	72
6.3.2 Stanovení přilnavosti v tahu .....	75
6.3.3 Stanovení transportních parametrů pro vodní páru .....	79



6.3.4	Odolnost materiálu vůči bakteriím a plísním.....	82
6.3.5	Další experimentální analýzy plísním.....	87
6.4	Shrnutí zjištěných vlastností hydroizolačního materiálu na bázi elastomerní polyurey .....	87
<b>7</b>	<b>ANALÝZA HYDROIZOLAČNÍCH SYSTÉMŮ MOSTŮ .....</b>	<b>92</b>
7.1	Hydroizolační systémy mostovek .....	94
7.1.1	Metodika návrhu hydroizolačních systémů mostovek .....	94
7.1.2	Ochranné vrstvy, pečetící vrstvy a zálivky izolačních systémů – definice pojmů dle TP 164 .....	97
7.2	Analýza polyuretanových (a polyurea) izolací u mostů .....	99
7.2.1	Experimentální analýza a aplikace elastomerní polyurey .....	100
7.3	Analýza rizikových faktorů aplikace polyurea v porovnání s dalšími typy izolací .....	107
7.4	Případové studie - analýza poruch hydroizolačních souvrství.....	108
7.4.1	Diagnostika - provedené průzkumy hydroizolačních souvrství .....	108
7.4.2	Případové studie hydroizolačních systémů vybraných mostů .....	110
7.4.2.1	Most ul. Osvobození, Cheb .....	110
7.4.2.2	Most u střelnice, Bílovec .....	111
7.4.2.3	Estakády na Letné.....	112
7.4.2.4	Lávka pro pěší - stadion v Karlových Varech.....	113
7.4.2.5	Most v ul. Bezručova, Děčín .....	113
7.4.2.6	Hodnocení příčin poruch hydroizolačních systémů .....	114
7.4.2.7	Obecná problematika hydroizolací ve vztahu ke spolehlivosti hydroiz. souvrství ...	115
7.4.2.8	Zhodnocení analýzy vybraných hydroizolačních souvrství.....	116
<b>8</b>	<b>APLIKACE HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU ELASTOMERNÍ POLYUREY - PŘÍPADOVÉ STUDIE (PRŮZKUMY, DIAGNOSTIKA PORUCH, ODBĚR VZORKŮ).....</b>	<b>118</b>
8.1	Rekonstrukce historického mostu v severních Čechách .....	120
8.1.1	Základní charakteristika mostu .....	120
8.1.2	Stavebně technický průzkum.....	120
8.1.2.1	Vizuální, fotodokumentace - předběžné průzkumy a stanovení úrovně degradace .....	120
8.1.2.2	Diagnostika zdiva .....	121
8.1.2.3	Experimentální zkoušky rozšířené klenby .....	122
8.1.2.4	Experimentální zkoušky skladby na mostě a chodníku .....	122
8.1.2.5	Analýza vlhkosti .....	123
8.1.3	Stanovení zatížitelnosti mostu .....	123
8.1.4	Shrnutí příčin poruch .....	123
8.1.5	Návrh rekonstrukce.....	123





8.1.6 Experimentální aplikace hydroizolačního materiálu (elastomerní polyurea).....	124
8.1.7 Analýza aplikace materiálu .....	125
8.1.8 Zhodnocení rekonstrukce a jejich rizikových faktorů .....	126
8.2 Obnova Masarykova mostu v Kolíně .....	126
8.2.1 Základní charakteristika mostu .....	126
8.2.2 Stavebně technický průzkum .....	128
8.2.2.1 Vizualní - předběžné průzkumy a zjištěné degradace .....	128
8.2.2.2 Diagnostika mostu.....	131
8.2.2.3 Analýza vlhkosti .....	132
8.2.2.4 Analýza hydroizolačních souvrství.....	133
8.2.3 Shrnutí příčin poruch .....	133
8.2.4 Stručný návrh rekonstrukce .....	134
8.2.5 Analýza aplikace hydroizolačního materiálu (elastomerní polyurea) .....	139
8.2.6 Zhodnocení rekonstrukce a jejich rizikových faktorů .....	141
8.3 Rekonstrukce střech Anežského kláštera .....	141
8.3.1 Základní charakteristika objektu .....	141
8.3.2 Stavebně technický průzkum.....	142
8.3.2.1 Vizualní hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy .....	142
8.3.2.2 Mykologický průzkum .....	142
8.3.3 Návrh rekonstrukce .....	143
8.3.4 Analýza aplikace elastomerní polyurey .....	143
8.3.5 Zhodnocení rekonstrukce a jejich rizikových faktorů, přínos případové studie.....	143
8.4 Rekonstrukce historického obloukového mostu v Jeseníku .....	144
8.4.1 Základní charakteristika mostu .....	144
8.4.2 Stavebně technický průzkum.....	145
8.4.2.1 Vizualní - předběžné průzkumy a zjištěné degradace .....	145
8.4.3 Shrnutí příčin poruch .....	148
8.4.4 Stručný návrh rekonstrukce .....	149
8.4.5 Analýza aplikace hydroizolačního materiálu (elastomerní polyurea) .....	151
8.4.6 Zhodnocení rekonstrukce a jejich rizikových faktorů .....	151
8.5 Shrnutí aplikace elastomerní polyurey u mostů .....	152
8.6 Dlouhodobý monitoring experimentální aplikace elastomerní polyurey .....	152
8.6.1 Lávka v Praze 8.....	152
8.6.1.1 Popis aplikace .....	152
8.6.1.2 Monitoring aplikace .....	153
8.6.1.3 Výsledky a závěr monitoringu aplikace .....	153
8.6.2 Kaskády ve svahu, Praha 8.....	154



---

8.6.2.1	Problematika aplikace materiálů .....	154
8.6.2.2	Experimentální analýza aplikovaných materiálů .....	155
8.6.2.3	Aplikace elastomerní polyurey .....	156
8.6.2.4	Monitoring aplikace .....	157
8.6.2.5	Výsledky a závěr monitoringu aplikace .....	157
8.6.3	Nádrže na dešťovou vodu a koi kapry .....	158
8.6.3.1	Popis aplikace .....	158
8.6.3.2	Monitoring aplikace .....	158
8.6.3.3	Výsledky a závěr monitoring aplikace .....	159
8.6.4	Plochá střecha, Klánovice .....	159
8.6.4.1	Problematika aplikace .....	159
8.6.4.2	Výsledky experimentální analýzy aplikace .....	160
8.6.5	Historická zemědělská usedlost Horky nad Jizerou .....	161
8.6.5.1	Popis objektů usedlosti a jejich poruch .....	161
8.6.5.2	Experimentální analýza .....	162
8.6.5.3	Rekonstrukce usedlosti.....	164
8.6.6	Viadukt Cinta Costera III, Panama City, Panama .....	165
8.6.6.1	Popis konstrukce a jejich poruch, problematika aplikace .....	166
8.6.6.2	Popis aplikace .....	166
8.7	Vyhodnocení aplikace, rizikové faktory .....	167
<b>9</b>	<b>VYHODNOCENÍ/ ZÁVĚR .....</b>	<b>169</b>
9.1	Porovnání vybraných tradičních a moderních hydroizolačních technologií .....	173
9.2	Vlastní přínos práce .....	174
<b>10</b>	<b>STRUKTUROVANÝ PŘEHLED ZDROJŮ .....</b>	<b>175</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>186</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>190</b>
	<b>SEZNAM VÝZNAMNÝCH VLASTNÍCH PUBLIKACÍ .....</b>	<b>191</b>
	<b>SOUPIS VÝZNAMNÝCH PROJEKTŮ A REALIZOVANÝCH REKONSTRUKCÍ HISTORICKÝCH STAVEB..</b>	<b>192</b>



## 1 ÚVOD

Disertační práce se zabývá analýzou vybraných historických staveb, experimentálním ověřením jejich stavu a rozborem návrhu rekonstrukce. Byly provedeny terénní průzkumy s odběrem vzorků, jejich laboratorní analýzy a hodnocení provedených aplikací v laboratorních podmínkách a in-situ (vzájemná komparace). Výzkum je zaměřen na analýzu možnosti použití vybraných historických metod i nových materiálů a technologií při rekonstrukci historických objektů. Z kategorie nových materiálů je zejména analyzován hydroizolační materiál na bázi elastomerní polyurey výrobce Rhino Linings. Jedná se především o laboratorní analýzy a terénní aplikace.

V práci jsou uvedeny případové studie pozemních staveb a mostů. Celkem jsou prezentovány čtyři historické objekty a čtyři mosty. Tyto stavby jsou památkově chráněné (popř. se vyskytují na seznamu staveb, aspirujících na zápis mezi památkově chráněné stavby). Případové studie obsahují průzkumy historické s podrobnou analýzou stavebního řešení a jeho vývoje v průběhu historických etap a stavebně technické průzkumy. Součástí je popis původně i později použitých materiálů a popis konstrukcí. Tato část práce je doložena fotodokumentací stávajícího stavu se zakreslením vyskytujících se poruch. Jsou zde uvedeny i pravděpodobné následky poruch. Příčiny poruch byly experimentálně ověřovány in-situ a v laboratoři. Veškeré poznatky a výsledky experimentálních analýz jsou uvedeny v příslušných kapitolách. V návaznosti na zjištěné poruchy byly navrženy sanace s ohledem na budoucí využití jednotlivých objektů a při respektování požadavků NPÚ. Případové studie tak obsahují doporučený přístup (tj. souhlasné stanovisko) NPÚ k řešení návrhu rekonstrukce a metodiku posuzování staveb. Jedná se především o provedení tzv. kritického přístupu k rekonstrukci staveb z pohledu památkové péče. Kritický přístup zahrnuje jak analytický model, jenž dokládá jednotlivé stavební fáze, tak zároveň syntetickou metodu, která přihlíží k celkové stavební, konstrukční a estetické integritě stavby. Součástí návrhu rekonstrukce je uvedení vlastností použitého materiálového a technologického řešení se zhodnocením rizikových faktorů a vlivu na stávající konstrukce. Tyto hlavní stavby jsou tématicky rozděleny dle materiálového řešení, uplatněného při rekonstrukci na tradiční a moderní metody. U staveb, uvedených v případových studiích bylo žádoucí správně identifikovat zejména původní řešení, jeho technické parametry a historický vývoj objektu včetně jeho funkčního využití tak, aby bylo možné např. v současné době nefunkční prvky obnovit a stavby uvést co nejvíce do jejich původní podoby (tedy do období stanoveného památkovou péčí). V rámci tohoto procesu bylo třeba navázat na materiálové řešení staveb - v některých případech se dokonce jedná o výrobu nových prvků na bázi původních materiálů. U jiných prvků se naopak uplatnil přístup renovace stávajících prvků v návaznosti na zjištěný rozbor fyzikálních a chemických vlastností materiálů. Fyzikální a chemické vlastnosti omítek pro případné konzervování historicky cenných vrstev Šlikova hrádku u věže Šlikovka byly stanoveny ve spolupráci s výzkumným centrem ÚTAM. V rámci laboratorních analýz pro výběr vhodného materiálu u dané konstrukce byly experimentálně ověřeny i vlastnosti novodobých materiálů při aplikaci na historickou, resp. degradovanou konstrukci.



Pro tyto účely byly vybrány materiály firmy Rhino Linings, které byly aplikovány přímo na zvolené konstrukce a zároveň analyzovány v laboratoři. Jednalo se především o hydroizolační materiál na bázi elastomerní polyurey a v případě mostu v Jeseníku o materiály určené pro zesílení konstrukcí či zacelení povrchu původní konstrukce. Cílem bylo zjistit, zda jsou i tyto, na našem trhu nové materiálové systémy, vhodné pro použití u rekonstrukcí. Hydroizolační systémy jsou v současné době v zahraničí poměrně již hojně užívány u novosteb, nicméně dosud nebyly aplikovány u starších staveb. Záměrem však není tyto materiály a technologie prosazovat u památkově chráněných objektů. Představa jejich uplatnění spočívá spíše v aplikaci u speciálních případů (např. různých později provedených dostaveb, jak je v práci názorně předvedeno) a především u sanace mostních konstrukcí. Právě v mostním inženýrství si polymerní hmoty jako hydroizolace mostovek teprve získávají své místo, nicméně dle současných trendů lze předpokládat, že se skutečně jedná o „materiály budoucnosti“. Provádění hydroizolací asfaltových vozovek u mostů je náročným úkolem vzhledem k požadavkům, které jsou na ně kladeny. Na rozdíl od pozemních staveb, kdy je především zásadním bodem vytvoření vodotěsné vrstvy s určitou mechanickou odolností a životností, jsou u mostů tyto požadavky mnohonásobně náročnější. Hydroizolace musí být nejen vodotěsná, ale její životnost musí být srovnatelná s životností mostovky a vedle statického zatížení musí odolávat i dynamickým účinkům dopravy. Tato vrstva musí odolávat velkým teplotním změnám a musí disponovat schopností přenosu brzdících sil (radiálních a tangenciálních) do konstrukce. Zároveň je nutné, aby vrstva vykazovala dostatečnou tažnost pro přenesení trhlinek v podkladu. Důvodem pro provádění veškerých analýz materiálu elastomerní polyurey byla otázka, zda splňují výše uvedené požadavky. Tato hypotéza je proto ověřována experimentálně v laboratoři a in-situ. U běžných rekonstrukcí se mohou uplatnit i např. jako hydroizolační vrstvy v suterénní části objektů. Práce proto obsahuje samostatnou část případových studií aplikace těchto materiálů. Pro tyto účely bylo navrženo celkem 6 hydroizolačních souvrství, které byly laboratorně analyzovány jako celek. Samostatnou část této práce proto tvoří ukázky experimentálních aplikací elastomerní polyurey s hodnocením dlouhodobého monitoringu. Pro provádění těchto aplikací však bylo nutné absolvovat certifikované školení v Praze, Frankfurtu a USA.

V disertační práci jsou uvedeny výhradně stavby, na jejichž rekonstrukci, projektu (DSP, DPS) či realizaci se autorka ve značném rozsahu podílela a za některé z nich nese plnou zodpovědnost ve smyslu zákona Sb. 360/1992 - autorizační zákon. Experimentální analýzy elastomerní polyurey byly prováděny v rámci studijních předmětů během magisterského a doktorského studia na Fsv ČVUT a během přípravy diplomové i disertační práce za spolupráce zkušených odborníků. Řada zkoušek vychází ze standardních postupů v rámci certifikace materiálu ve smyslu neharmonizované a harmonizované sféry uvádění stavebních výrobků na trh. Finální certifikaci amerického hydroizolačního materiálu bylo však pochopitelně nutné provést nezávisle na těchto akademických experimentech a vše uvést do souladu s příslušnými právními předpisy. Návrh hydroizolačních souvrství a jejich aplikace u jednotlivých staveb jsou výhradním příspěvkem autorky, experimentální aplikace pocházejí z jejich praktických zkušeností.



## 2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Průzkumné práce a diagnostika konstrukcí jsou klíčovým faktorem při rozhodování o způsobu rekonstrukce. Cílem disertační práce je proto snaha o **stanovení doporučené metodiky pro provádění stavebně technických průzkumů** a diagnostiky staveb, neboť se v praxi bohužel stává, že jsou tyto postupy často omezovány nebo opomíjeny ať už z časových či finančních důvodů, případně z důvodu nízké odbornosti projektanta nebo investora. U pozemních staveb navíc neexistuje na rozdíl od mostního inženýrství systém pravidelných prohlídek, které by odhalily vzniklé poruchy. Neexistuje ani předpis či metodika, které by tuto situaci zlepšily. Samotný přístup k diagnostickým metodám bývá značně omezen. Podceněním průzkumných prací může dojít k provedení nekvalifikovaných zásahů do konstrukcí, což může v konečném důsledku vést ke znehodnocení celého stavebního díla. V současné době je tato situace vnímána širokou veřejností zejména v souvislosti se špatným stavem některých mostů. Předložená práce se proto snaží poukázat na neopominutelnou nutnost provádění prohlídek a důsledné diagnostiky staveb tak, aby bylo možné předcházet vzniku, případně rozvoji fatálních poruch a havarijních stavů u konstrukcí. K těmto situacím může dojít i při provádění rekonstrukčních prací, což opět poukazuje na chyby v průzkumu stavby, neznalost původního stavebního řešení, popř. provedení různých nevhodných sanačních úprav v minulosti. Disertační práce proto reaguje na současné události ve stavitelství. Zároveň je však zřejmé, že zejména u některých náročných konstrukcí není možné postihnout všechna místa možného vzniku poruch.

Jedním z cílů práce je tedy ukázat možnosti **citlivých přístupů k rekonstrukci**, čímž dojde k zachování historicky cenných staveb za současného poznání v minulosti užívaných stavebních postupů a technologií.

Současně je snahou autorky naplnit určité poselství, ukázat dříve používané (a mnohdy již zapomenuté) i netypické postupy v tradičním stavitelství a nastínit možnosti rekonstrukcí nejen historicky chráněných objektů. V práci jsou řešeny také **návrhy rekonstrukcí za využití speciálních technologií a především inovativních materiálů**, které v současné době světový trh nabízí. Technologie a materiály jsou voleny tak, aby odpovídaly stavebně technickému řešení konkrétních objektů a často evokují návrat ke staršímu nedochovanému stavu. V tomto smyslu obnovení historického stavu jsou návrhy rekonstrukce u památkově chráněných objektů prováděny v souladu s požadavky NPÚ. Návrat ke staršímu řešení byl prováděn na základě rekognoskace historických vrstev a jejich bezpečným zachováním, podloženým dostatečnou znalostí původního stavu vyplývajících ze stavebně historických průzkumů.

Metodika průzkumů je v několika případech ověřena vlastní realizací rekonstrukce. Součástí práce je proto i zhodnocení způsobů sanace. Záměrně zvolené stavebně i funkčně odlišné stavby vybudované v různých historických etapách jsou tímto způsobem popsány.

Jedním z hlavních cílů práce bylo **ověření využitelnosti a spolehlivosti analyzované elastomerní polyurey při rekonstrukci historických objektů a navržení nových hydroizolačních souvrství vhodných pro mostní konstrukce**.



Autorka si klade za cíl zpracovat daný námět tak, aby mohl být z pohledu stavební praxe určitou inspirací při náročném procesu rozhodování o vhodném způsobu rekonstrukce historických objektů. Jedná se o mezioborovou práci, ve které se objevují průzkumy a návrhy rekonstrukce pozemních staveb a mostů. Záměrem je poukázat na společné podobnosti v diagnostice konstrukcí, v návrhu rekonstrukce a systému volby hydroizolačních systémů, odpovídajících způsobu namáhání konstrukce.

#### **K hlavním cílům disertační práce patří:**

- Podrobná analýza historických objektů v rámci terénních průzkumů
- Vyhodnocení terénních průzkumů a laboratorních analýz
- Laboratorní analýza **hydroizolačního materiálu na bázi elastomerní polyurey, experimentální aplikace materiálu in-situ** (vzájemná komparace výsledků)
- Vlastní návrh hydroizolačních souvrství pro použití u mostů
- Rozbor možnosti použití nových materiálů a technologií (elastomerní polyurey) u rekonstrukcí se zhodnocením rizikových faktorů
- Rozbor možnosti použití tradičních materiálů při rekonstrukci, důraz je kladen na poznatky ze spolupráce s NPÚ a SPH (Správa Pražského hradu).

Přínosem disertační práce jsou výsledky podrobných terénních průzkumů a laboratorních analýz, odhalujících starší konstrukční, technologické a materiálové řešení objektů. Za neméně důležité lze považovat výsledky analýzy navržených sanačních metod v konkrétních případech se zhodnocením rizikových faktorů. Hlavním výstupem je optimalizace návrhu sanačních metod a nových hydroizolačních souvrství na bázi elastomerní polyurey.



### 3 METODY PRÁCE

Disertační práce je zaměřena na experimentální ověření teoretických poznatků jak v laboratoři, tak přímo v reálném prostředí na stavbě. Dochází tak k propojení teorie s praxí, kdy je ověřována funkčnost a způsobilost nově navržených hydroizolačních souvrství i sanačních metod.

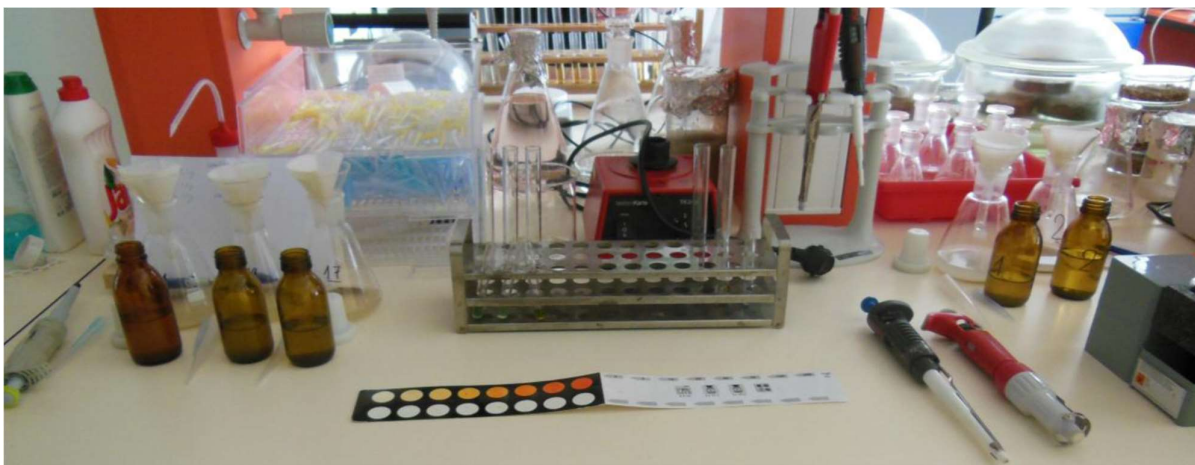
Jedná se zejména o:

- Odborné rešerže
- Terénní průzkumy s odběrem vzorků
- Laboratorní analýzy vzorků
- Vyhodnocení provedených aplikací v laboratorních podmínkách a in-situ, vzájemná komparace

V teoretické rovině jsou využívány odborné zkušenosti, které vycházejí z autorky dlouhodobé projekční činnosti zaměřené na rekonstrukce historických staveb a odborné rešerže - (na některých z nich se autorka aktivně podílela).

Před každým návrhem rekonstrukce byly provedeny stavebně technické průzkumy jednotlivých objektů a odebrány vzorky pro laboratorní analýzu. Na základě zjištěných skutečností byly navrženy optimální sanační metody.

Jedním z hlavních cílů disertační práce je analýza nově navržených hydroizolačních souvrství, jejichž vlastnosti a využitelnost jsou analyzovány. Provedené aplikace jsou hodnoceny jak v laboratorních podmínkách, tak in-situ u vybraných objektů i mostů. Výsledky obou metod jsou pak vzájemně porovnány.





*Obr. 1 - 3: Metody řešení - laboratorní analýza*





*„Vědomosti stavitelovy, jehož úsudkem jsou hodnocena díla vytvářená jinými uměními, jsou vyzbrojeny celou řadou věd a všestranným vzděláním. Vědomosti tyto se rodí z praxe (fabrica) a z teorie (ratioanatio). Praxe je stálé a běžné rozvažování na podkladě získaných zkušeností, jež z jakéhokoli materiálu provádí rukou dílo k dosažení pojatého plánu. Teorie pak dovede vypracované věci demonstrovat důvtipem a vědeckým propočtem.“*

*Proto stavitelé, kteří se bez teoretického vědeckého vzdělání věnovali jenom výcviku v manuální obratnosti, nemohli dosáhnout plného docenění svých výkonů. Ti, kteří se na druhé straně zase spolehli jen na teorie a na pouhé vzdělání vědecké, vypadají, jako by sledovali stín a ne věc samu.*

*Jako totiž ve všem, jsou zejména ve stavitelství obsaženy tyto dvě věci: to, co je předváděno a to, co se předvádí: předváděno je zamýšlené dílo, o němž se jedná, předvádění je demonstrace, vysvětlená vědeckými zásadami. Proto kdo se chce vydávat za stavitele, musí být zřejmě vzdělán oboustranně.“*

*Vitruvius: Deset knih o architektuře [3]*



## 4 TRADIČNÍ METODY TECHNOLOGIE SANACÍ STAVEB PROTI VLHKOSTI

Od nejstarších dob stavitelé vytvářejí vymezenou jednotku prostoru, ať už je určena jednotlivci či více lidem, běžnému či duchovnímu životu. Vytvářejí samostatné prostory, stále nezávislejší na vlivech přírodního prostředí, prostory chráněné proti změnám povětrnosti i proti lidem, soukromé prostory vyhrazené odpočinku, práci, případně jiným účelům.

Na vybavení vnitřních prostor byly kladeny čím dál větší a různorodější nároky, vyplývající z dané doby a jejich potřeb. Účel a celkový vzhled se pochopitelně nejvíce měnil u staveb veřejných. U těchto staveb byl však vždy kladen důraz nejen na jejich vybavení, ale i jejich prostorové uspořádání a jejich rozsah. Veškeré požadavky, počínaje jejich výstavbou a následnou přestavbou, revitalizací či rekonstrukcí, plynuly především z jejich účelu využití v dané době a z jejich polohy. V počátcích stavitelství byly mezi veřejné stavby zahrnuty v zásadě tři typy staveb - obranné, náboženské a obecně prospěšné. [1,2,4,5,6] Jelikož se případové studie v této práci převážně věnují veřejným stavbám, budou tyto stavby rozebírány i z pohledu dřívějších metod stavitelství a jejich rekonstrukce.

Naši předci již od nejstarších dob chápali sílu těchto přírodních živlů a nutnost ochrany konstrukcí před jejich mnohdy až ničivým působením.

*„Mílenský Tháles, jeden ze sedmi mudrců označil za základní živél všech věcí vodu, Hérakleitos oheň, kněží Mágů vodu a oheň, Eupiridés vzduch a zemi. Pythagoras, Empedoklés, Empichrmos a jiní prohlásili, že tyto základní živly jsou čtyři: vzduch, oheň, země a voda“ [3].*

V návaznosti na tyto znalosti a praktické zkušenosti byly vyvíjeny prostředky, způsoby výstavby a hmoty, které zamezily, resp. omezily působení živlů. Postupně i naši předci přistupovali k rekonstrukcím svých sídel a veřejných staveb. Pro tyto účely byly především používány hmoty, které poskytovala příroda. Stavitelství tak vznikalo a rozvíjelo se nejen v možnostech daných těmito zdroji, ale především jako výsledek rozumových úvah člověka. Z počátku se jednalo o hmoty přírodní - jako rásosí, hlína, kámen, asfalt, dřevo a později k nim přibývaly hmoty složitěji připravené, jako např. vypalovaná a glazovaná cihla, vápno, sádra, kovy, sklo, cement, vedoucí k postupným přípravám směsí vyráběných chemickými postupy. [1,4,5,6]

### 4.1 TRADIČNÍ OCHRANA STAVEB PROTI ÚČINKŮM VLHKOSTI

Při posuzování vhodnosti lokality k trvalému osídlení byla jedním z rozhodujících prvků voda v krajině, především pak dostupnost vodního zdroje. Trvalý vodní zdroj zajišťoval i potřebnou úrodnost půdy. Přednostně se vybírala místa, která zároveň poskytovala ochranu staveb proti zaplavování a kde nebyla vysoká hladina podzemní vody.



S přítomností vody v jakékoliv její podobě v blízkosti historických sídel či přímo pronikající voda do objektů však vznikaly požadavky na ochranu staveb před jejími negativními účinky. Ochrana spodní stavby začala nabývat na významu především ve starověku (Mezopotámie, Čína, Egypt, Řecko, Indie, Řím), kdy stoupal podíl potřeby odlišnosti významných staveb, a to pro účely vládnoucích vrstev a účely náboženských obřadů. Spodní stavba obecně vyžadovala trvanlivý základ, a to jak pro vlastní únosnost stavby, tak pro trvanlivost, tedy ochranu vůči vnějším vlivům - nejen vlhkosti.[1]

V následující části práce jsou uvedeny historické způsoby ochrany staveb proti pronikání vlhkosti, které byly užívány při výstavbě či jako dodatečně prováděné při nedostatečném způsobu původní ochrany. Provedení některých tradičních technologií na ochranu objektů proti vlhkosti se i v dnešní době ukazuje jako velmi efektivní, což je prokázáno i v případových studiích. Zároveň se v mnoha případech jedná o naplnění požadavků NPÚ při rekonstrukci či obnově historických objektů a mostů. Z těchto důvodů byla dána přednost u rekonstrukce staveb tradičním metodám před moderními materiály.

K jednotlivým stavbám je však nutné přistupovat individuálně a zhodnotit veškeré rizikové faktory aplikace tradičních materiálů či technologií na historické bázi. Lze však konstatovat, že u vybraných historických staveb jsou původní způsoby ochrany vhodnější než některé současné technologie. Tuto skutečnost však nelze zobecňovat, proto je vždy nutné provést důkladnou diagnostiku, identifikovat historické materiálové a technologické řešení a analyzovat současné vlhkostní poměry.

#### **Materiálové řešení:**

Ideálním stavebním materiálem spodní stavby byl nenasákavý lomový kámen, případně řemeslně vyrobená pálená cihla. V období starověku jen Řekové používali na vyzdívku krepidy, tj. podnože soklu, u některých chrámů kvádrové zdivo, někdy kombinovaného se zdivem lomovým. Řekové a Římané obecně používali na své stavby přírodní i připravené hmoty (jako dřevo, sláma, hlína, nevypálená cihla, kámen, kovy, dále vypalovaná cihla, terakota a v Římě i sklo). Stavitelé postupně získávali zkušenosti s používanými stavebními materiály, technologii výroby vápna a hydraulických pojiv. Rovněž znali nenasákavé materiály a jejich použití (břidlice, asfalty, jíly, včelí vosk, kovy, smola a zejména pucolán).

V době velkého rozvoje měst se zvyšoval nárok na ochranu spodních staveb objektů. Díky znalosti vlastností nenasákavých materiálů byla konstrukce spodní stavby chráněna buď z neporézního kamene nebo z ostře pálené cihly. V 19. stol. začaly být využívány vedle přírodních asfaltů i kamenouhelné dehty a smola.

Později - cca od první poloviny 19. století se pak hydroizolační vrstvy natíraly dehtem a do nátěru se vkládala lepenka. Vznik dalších hydroizolačních materiálů spadá do 20. století, kdy se začaly vyrábět těžké hydroizolační pásy. [1,2, 4,5]



#### 4.1.1 STRUČNÉ SHRNUTÍ HLAVNÍCH TRADIČNÍCH TECHNOLOGIÍ OCHRANY STAVBY PROTI VLHKOSTI:

Níže je uveden stručný přehled historických technologií [1,9,13,14,15,16,17], z nichž některé byly vybrány při rekonstrukci historických objektů uvedených v případových studiích. Podrobné pojednání o této problematice lze nalézt v řadě odborných publikací, věnujících se tomuto tématu.

##### - Metody vzduchové (využívající proudění vzduchu a oddělení konstrukcí vzduchovou dutinou)

Jejich správná funkce je podmíněna zajištěním dostatečného a spolehlivého odvětrání vlhkého vzduchu. Základní princip vzduchových dutin pro odvlhčování zdiva spočívá v oddělení stavební konstrukce (zdiva, podlahy) od zdroje vlhkosti (přílehlé zeminy) pomocí větrané vzduchové dutiny, která má zajištěn trvalý přívod a odvod vzduchu. Metoda patří mezi nejstarší systémy ochrany staveb vůbec. Ve starověku se používala nejen ochrana spodních staveb, ale i svislých konstrukcí. [1,3,4] V následující části je uveden úryvek z Vitruviovy knihy Deset knih o architektuře - z knihy sedmé, kapitola IV. Vlhké zdi

*„Předně se v místnostech v přízemí nahodí dole asi do výše tří stop od podlahy a zarovná místo omítky z písku omítka z malty, z kousků pálených cihel a střepů, aby tyto části omítek nebyly poškozovány vlhkem. Je-li však některá stěna provlhlá úplně, postaví se v malém odstupu od ní druhá, tenká stěna vzdálená od první o tolik, kolik poměry dovolí. Mezi stěnami se vede o něco pod úroveň místnosti žlábek s otvory do volného prostoru. Není-li však pro nedostatek místa možno postavit takovou druhou zeď, zřídí se stružky, jejichž otvory musí ústit na volné prostranství. Pak se položí dvoustopové střešní krytinové cihly z jedné strany na okraj stružky. Z druhé strany se pod ně podezdí z malých cihel o 2/3 stopy pilířky, na nichž mohou svými rohy sedět dvě krytinové cihly.“ [3]*

Postup v knize dále detailněji pokračuje, podstatou je však vytvoření izolační zdi proti vlhkosti, pro kterou se užívaly dva typy izolačních cihel tzv. tegula mammata a tegula hammata.

Použití vzduchových metod je zejména vhodné u objektů, kde není možné zasahovat do nosného zdiva mechanickým způsobem (památková ochrana, klenby sloupů apod.), dále u objektů, kde byly původně provedeny, nicméně došlo v souvislosti se stavebními úpravami v průběhu let k narušení vzduchoizolačních systémů (průduchy byly např. zasypány nebo využity k jiným účelům). Vzduchové izolace lze rozdělit na vzduchové dutiny a ostatní vzduchové izolační systémy. Předpokladem pro zajištění správné funkce je řešení návrhu v širších souvislostech, tj. osazení a poloha objektu v terénu (celkovou situaci stavby) s jeho dispozičním řešením a orientace objektu ke světovým stranám. U návrhu je také vždy třeba respektovat výšku okolního terénu a skutečnost, zda je objekt podsklepen. [4,5,6]

Vzduchové dutiny je možné rozdělit podle polohy (svislé, vodorovné), umístění (vnější a vnitřní strana obvodového zdiva), způsobu proudění vzduchu (s přirozeným nebo nuceným prouděním), způsobu odvětrání (odvětrávané do exteriéru nebo do interiéru - což není doporučeno) a podle doby realizace (původní a dodatečné). Vzduchové dutiny, které jsou umístěny na vnější straně obvodového zdiva, je možné kombinovat s např. podlahovými vzduchovými dutinami a mimo



jiné s řadou novodobých sanačních metod. Vzduchovými dutinami se dříve běžně izolovaly podlahy v přízemních nebo podzemních podlažích. Pod podlahami tak vznikaly celoplošné systémy provětrávaných dutin. V dnešní době je možné se s nimi často setkat především jako s obnovou původního řešení, ale používají se běžně v souvislosti se sanací vlhkého zdiva nebo jako ochrana proti radonu pronikajícího z podloží. Ukázka použití podlahových vzduchových dutin je v případě rekonstrukce historického objektu - Císařský špitál sv. Antonína na Pražském Hradě.

Mezi ostatní vzduchové systémy lze zařadit: izolace systémem kanálků, použití profilovaných fólií, provětrávané drenážní systémy apod. Mezi patrně nejznámější způsob sanace systémem kanálků patří Knapenovy kanálky (sifony). [2,7,8,11,12]

#### **- Metody odvodňovací (drenáže, vodoteče, trativody, odvodňovače a postupy snižující množství vody působící na konstrukce)**

Jedná se o způsob odvedení vody (podzemní, srážkové) z těsné blízkosti objektu pomocí soustavy drénů a drenážních objektů. Odvodnění je obvykle navrhováno jako doplňkové řešení k hlavnímu hydroizolačnímu systému. V okolí objektů se často zřizovaly drenáže nebo štoly jímající podpovrchovou vodu. [2,6,7]

#### **- Metody využívající izolačních vlastností jílu**

Jílové těsnící vrstvy neboli omazy patří rovněž mezi nejstarší způsoby hydroizolačních opatření. V minulosti bylo jejich použití zcela běžné. V našich zemích byly využívány již od středověku. Tehdy se podzemí budov obalovalo jílovou mazaninou. Výhodou jílu je, že jsou plastické a tím i snadno tvarovatelné, aniž by se přitom porušila jejich celistvost. Jílové těsnící vrstvy nezajišťují úplnou vodotěsnost obvodových konstrukcí, pouze udržují vlhkostní stav ve zdivu na požadované přiměřené úrovni a nedochází tak k rychlému vysušení zdiva. Proces vysychání konstrukce není vhodné urychlovat. Po šetrném vysušení si však jíl zachovává svůj původní tvar. Jíl určený k izolaci měl být jemný, dobře vazný a stejnorodý. Kvalita jílu závisí na obsahu minerálu montmorillonitu. Před použitím se jíl vlhčil a zpracovával se ve vodorovných vrstvách tloušťky 100 - 200 mm. K hlavním výhodám jílových izolací patří, že z důvodu své plastičnosti kopírují případné nerovnosti izolovaného povrchu (mají jen malou náročnost na přesnost provádění) a jsou málo citlivé na sedání konstrukcí. Jedná se o přírodní materiály, které jsou inertní a nepůsobí negativně na stavební konstrukce či okolní prostředí, zároveň téměř nepodléhají stárnutí.

V dnešní době jsou jílové izolace používány zejména u památkově chráněných objektů jako obnova původních opatření, resp. jejich doplnění. Jílové izolace byly obnoveny u vybraných objektů (např. rekonstrukce historického mostu v lokalitě Portz Insel), které jsou součástí případových studií uvedených v disertační práci. U některých rekonstrukcí jsou klasické jíly nahrazovány tzv. bentonitovými matracemi. Výrazně nižší propustnost bentonitů je dána skutečností, že se skládá z neaktivnějších montmorillonitických jílových minerálů. Pro jílové minerály je charakteristické, že v jejich krystalické mřížce je část kationtů nahrazena jiným kationtem, jehož typ předurčuje na jedné straně velikost jílových minerálů a na druhé straně jejich specifický povrch. V přírodě se nejčastěji



vyskytuje Ca - montmorillonit. Uměle se běžně z formy Ca vytváří forma Na, tzv. bentonit sodný, který ovšem může v prostředí s dostatkem vápníku přejít poměrně snadno zpět do formy Ca. Nižší bobtnací potenciál Ca bentonitu může být i výhodou, a to v případě, kdy je obava, že tlak vyvozený nabobtnáním bentonitu může být vyšší než zatížení následnými vrstvami (případová studie - rekonstrukce historického mostu v Rumburku). Základním prvkem současných bentonitových povlakových izolací jsou bentonitové matrace, které již patrně plně nahradily dříve používané desky z papírové lepenky vyplněné bentonitem. [6,7,10]

#### - Metody využívající vodonepropustných přísad

Výroba a používání pojiv ke stavebním účelům prošly několikatisíciletý vývoj. Nejznámějším pojivem je vápno. Přibližně před 7500 lety př.n.l. se na území dnešního Jordánska používalo vápno ve směsi s nepáleným vápencem. Dalším používaným materiálem byla sádra, která se používala v Sýrii i Egyptě. Semitské národy používaly nejen vápenné malty a dokázaly připravit hydraulická pojiva smícháním jemně rozemletých pálených cihel s bílým vápnem, která tvrdla i pod vodou bez přístupu vzduchu. Římané tuto metodu převzali a používali směsi vysoce hydraulických pojiv, která se připravovala pálením přírodně znečištěných vápenců bohatých na jílové minerály. Tyto historicky prováděné malty a cementy vynikaly krátkou dobou tuhnutí, výbornou strukturou hmot, odolností vůči zvětrávání a malým smrštěním při tuhnutí. Do původních pojivých složek se později přidávaly různé přísady organického i anorganického původu a především vulkanické tufy – pucolány a trasy. Pojiva zajišťují plastičnost přilnavost, soudržnost a travlivost hmoty. Tyto tradiční materiály byly využity např. v rámci návrhu rekonstrukce Šlikova hrádku, obory Hvězda, historického mostu v lokalitě Portz Insel. Tyto vybrané stavby jsou součástí případových studií uvedených v disertační práci. [1,7,8,10]

Vodonepropustné historické materiály:

- **helénské malty:** směs přírodních vulkanických příměsí s vápnem z ostrova Santorini - Thira (700-600 př.n.l.)

- **románské malty:** směs vápna, mleté cihly a vulkanické příměsí (pucolány) z Pozzuoli u Neapole (Vesuv). Pucolán přidaný do vápenné malty modifikuje její vlastnosti. Pucolány s obsahem křemičité a hlinité složky vytvářejí s hydroxidem vápenatým řadu sloučenin. Výsledkem chemické reakce jsou hydratované křemičitany a hlinitany vápenaté, které jsou nerozpustné ve vodě a jejich složení je podobné sloučeninám vznikajícím při hydrataci cementu.

- **rýnský tras z vulkanického pohoří Eifel:** jíl, cihelný prach apod.

- **vodní sklo a fluáty:** tyto materiály se používaly zejména v 19. a 20. století. Povrch staviva byl napuštěn roztokem těchto látek, které působí chemicky na zdivo tak, že se vytvoří sloučeniny, jimiž se zaplní póry a povrch se stane nepropustný.



**- Metody izolace vodonepropustným stavivem:**

Izolace vodonepropustným materiálem patří mezi nejstarší způsoby hydroizolačních opatření. Jedná se o vkládání materiálů s vysokým difúzním odporem. Principem této metody je vytvoření vodorovné clony, která zabrání vzlínání vody ve zdivu obdobným způsobem, jaký se v současné době běžně provádí pomocí asfaltových pásů nebo HI fólií. Byly používány například ostře pálené cihly, opuka, břidlicové desky, olověné plechy apod. Materiály bývají aplikovány nejen v jedné vrstvě, ale zpravidla ve dvou nebo třech, často až v úrovni nad sokly. Tento způsob ochrany byl prováděn vždy během výstavby, proto jeho obnova je velmi komplikovaná, často neproveditelná a musí být nahrazen jiným řešením sanace na zcela odlišném principu. [4,7,8,9,17]



## 5 PŘÍPADOVÉ STUDIE - PRŮZKUMY, DIAGNOSTIKA STAVEB A NÁVRHY REKONSTRUKCE SE ZAMĚŘENÍM NA VYUŽITÍ TRADIČNÍCH TECHNOLOGIÍ

### 5.1 OBNOVA HISTORICKÉ OBVODOVÉ ZDI OBORY HVĚZDA

Účelem případové studie bylo zjištění funkční způsobilosti historické obvodové zdi a posouzení její využitelnosti. Hlavní částí studie byl návrh optimálních technologií sanace zdi, analýza návrhů řešení a zhodnocení rizikových faktorů, případně návrh dalších postupů. Vlastnímu návrhu obnovy předcházela podrobný stavebně technický průzkum. V závěru studie je popsán průběh realizačních prací, prováděných na základě zvoleného materiálového řešení obnovy. Na provádění materiálových analýz se podílel Kloknerův ústav ČVUT, návrh obnovy byl konzultován s NPÚ.

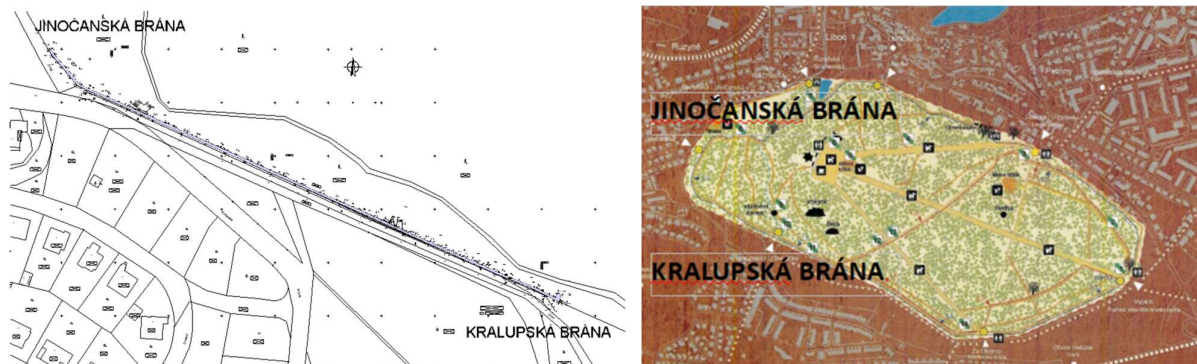
#### 5.1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBJEKTU:

Jak již z názvu vyplývá, obvodová zeď ohraničuje oboru Hvězda, na jejímž území se nachází pozoruhodná stavba letohrádku na půdorysu pěticípé hvězdy. Obora Hvězda v šestém obvodu Prahy je zbytkem někdejšího pralesa ustupujícího od desátého století nově budovanému městu. Na počátku měla být pohanským obětištěm, později nevelkou tvrzí na hraně svahu nad Litovickým potokem. Vlastní oboru, původně nazývanou Nová královská, založil v roce 1534 král Ferdinand I, který ji později nechal obehnat zdí. Obora založená pro loveckou kratochvíli panstva byla původně oplocena dřevěným plaňkovým plotem, ale vzhledem k útěkům zvěře, která způsobovala škody v nedalekých zahradách a vinicích, se již roku 1562 začala budovat kamenná zeď z opuky. Několikakilometrová zeď se dvěma branami (dnes má tři) byla postavena do roka. Dlouhý a dramatický vývoj královské obory však v sobě zahrnoval nejen období slávy a lesku, ale také krušná období válek a velkoplošného kácení. Třicetiletá válka oboře velmi ublížila - Ferdinand II. sice dal opravit bojem poškozený letohrádek i zeď, ale další nepřátelské armády plenyly toto území. Vše zakončili Švédové, kteří strhli měděnou střechu letohrádku i s hvězdou a vyplenili stromy v oboře a blízkém okolí. V letech 1929-1938 proběhla velká rekonstrukce obory Hvězda, návrh byl však realizován pouze z části. Důležitým rokem pro celou oboru byl rok 1952, kdy byla dokončena přeměna letohrádku na museum Aloise Jiráska. Později bylo museum rozšířeno o dílo Mikuláše Alše. Z příkazu tehdejších představitelů vlády (Zdeňka Nejedlého) byla část zdi zbourána, aby davu pracujících měli snazší přístup k letohrádku při příležitosti komunistických svátků. Později byla tato část zdi obnovena, ale celá prošla nevhodně provedenou rekonstrukcí - březolitová omítka na opuce však velmi špatně držela a odpadávala. Od šedesátých let přestala být obora Hvězda v prioritě zájmů





vlády a nebyly finance na její rozvoj. Pravděpodobně v 70. letech minulého století byl na částech zdi proveden torkret. Od roku 1995 se zeď systematicky po úsecích opravuje. [128,129]



Obr. 4 - 5: Situace řešeného úseku

### 5.1.2 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM [18,19,20,24]

Ohradní zeď obory Hvězda v tloušťce 640 - 1480 mm byla původně tvořena opukovým zdivem z opracovaných i neopracovaných lomových kamenů na maltu nízké pevnosti (vápennou či vápenohlinitou). Její výška se v řešeném úseku od Kralupské brány po Jinočanskou pohybuje od 1,9 až 2,95m.

Na několika úsecích byla zeď opatřena betonovým torkretem. Tato vrstva byla vyztužena kari sítí a železobetonovou zastřešující deskou, v některých částech byly provedeny provětrávací otvory. V době průzkumných prací (2017 – 2018) vykazovala torkretová vrstva značnou degradaci, na mnoha místech docházelo k její dezintegraci od původní zdi.

**Na degradaci ohradní zdi se podílelo několik faktorů, z nichž nejvýznamnější jsou:**

#### - Vnější vlivy v čase

Konstrukce obvodové zdi byla neustále vystavena cyklickým klimatickým účinkům vlhkosti. Na zdivo působily povětrnostní vlivy a zmrazovací cykly, což narušovalo strukturu materiálu a docházelo tak k jeho degradaci.

#### - Vliv mechanických a fyzikálních vlastností zabudovaných materiálů:

Problematika zabudovaných materiálů vychází především z nepříliš vhodného sanačního řešení v minulém století. Provedením torkretové vrstvy na původní opukové zdivo docházelo ke změnám mechanických vlastností materiálu na rozhraní fází. Degradáční procesy se projevily vysokou vlhkostí, nasákavostí, a salinitou.



## PROVEDENÉ PRŮZKUMY

### 5.1.2.1 Vizuální hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy:

Během průzkumů bylo definováno několik systematicky se opakujících poruch konstrukce, které jsou dále analyzovány:

- a) Degradace a koroze jednotlivých kusových staviv a malty
- b) Vypadávání kusového staviva ze stěny - vznik kavern, odlupování torkretové vrstvy
- c) Projevy vlhkosti (vlhkostní mapy na ploše původního zdiva i na vrstvě torkretu) a salinity zdiva
- d) Zřícení celého úseku zdi
- e) Trhliny v původním zdivu i na betonovém torkretu
- f) Biologické znehodnocení zdiva
- g) Mechanické porušení zastřešení koruny zdi
- h) Vandalismus



Obr. 6 - 8: Ohradní zeď - původní stav, r. 2017

### 5.1.2.2 Diagnostika s výsledky [19,20,22]

#### Průzkum založení zdi:

V kritickém úseku zdi bylo z vnitřní strany zdi provedeno celkem 15 sond k základové spáře. Sondami bylo zjištěno, že hloubka základové spáry se pohybuje od 750 do 1050 mm, přičemž v některých případech nebylo základové spáry dosaženo. Šíře základu je ve většině sond rozšířena oproti tloušťce stěny o 60 - 340 mm, v ostatních případech kopíruje tloušťku stěny v její patě. Materiálová charakteristika zdiva základů byla shodná s nadzemní částí zdiva, tj. základ je tvořen hrubým rádkovým zdivem z opuky a málo pevné malty. Na základě vizuální prohlídky kopaných sond lze zeminu charakterizovat jako soudržnou jemnozrnnou hlinito – písčitou, pevné konzistence (třída F3 - F4 dle ČSN 731001). Zemina nevykazuje plasticitu.

#### Jádrové vývrty:

Pro hodnocení zdiva zakrytého vrstvou torkretu byly po délce stěny provedeny jádrové vývrty průměru cca 50 mm. Vývrty zdiva prokázaly nízkou mechanickou soudržnost původního zdiva v oblastech pod torkretovou vrstvou. Vyplavením původní malty došlo ke snížení soudržnosti malty a opuky. Samotná opuka vykazovala proměnlivou kvalitu danou rozdílným stádiem degradace.



#### 5.1.2.3 Analýza vlhkosti [21,25,26]

Vlhkost zdiva byla stanovena gravimetrickou metodou dle ČSN EN 1097-5, ČSN EN 772-10, ČSN EN ISO 12570. Na vnitřní straně ohradní zdi směrem do obory byla vlhkost do výšky 0,5 m nad terénem v rozmezí 2,15 až 20,17 % hm. s průměrnou hodnotou 9,15 % hm. Jedná se tedy o **vysokou vlhkost**, lokálně však na hranici nasycení opuky.

V pásmu zdiva do 1 m byla stanovena vlhkost v rozmezí 0,95 až 17,96 % hm. s průměrnou hodnotou 9,53 % hm, tedy opět **vysoká hodnota vlhkosti**.

V oblasti nad 1 m byla naměřena vlhkost v rozmezí 2,1 až 14,17 % hm. s průměrnou hodnotou 7,12 % hm., což odpovídá zvýšené úrovni vlhkosti.

Analýza výsledků měření potvrdila, že kritický stav vykazují místa pod betonovým torkretem. Části zdiva ponechané bez úprav jsou v lepším stavu, neboť mohlo docházet k přirozenému odparu vlhkosti.

#### 5.1.2.4 Chemická analýza - salinita zdiva [19,20,23]

Ve stavebním materiálu (opuka, malta) bylo zjištěno zvýšené množství chloridů a dusičnanů: - obsah dusičnanů se pohybuje v rozmezí 0,03 až 0,98 % hmotnosti (velmi vysoký stupeň zasolení). Zdrojem dusičnanů je močovina (části zdi sloužily jako wc).

- množství chloridů je v rozmezí 0,04 až 0,23 % hmotnosti (vysoký stupeň zasolení). Chloridy se do zdiva dostaly z posypových solí přilehlých komunikací.

#### 5.1.3 SHRNUTÍ PŘÍČIN PORUCH

- Hlavní faktory, podílející se na degradaci obvodového zdiva obory Hvězda jsou následující:
- Pronikání vlhkosti a solí do konstrukce (atmosférická a podpvrchová voda)
  - Klimatická zatížení (nahodilá zatížení vyvolaná cyklickými meteorologickými jevy. Mezi ně patří dlouhodobé vystavení účinkům větru, sněhu a teplotním změnám)
  - Vznik trhlin (v důsledku neprovedené dilatace dochází ke stavům napjatosti. Na diagnostikovaném zdivu byly shledány horizontálně, vertikálně či šikmo orientované trhliny přímkového charakteru, které probíhaly přes celou tloušťku stěny, případně v celé tloušťce torkretové vrstvy. Tyto trhliny vznikly jako důsledek dilatačních pohybů a jejich obrazec se do budoucna bude pravděpodobně měnit a rozšiřovat.
  - Vandalismus

#### 5.1.4 NÁVRH OBNOVY

V návaznosti na zjištěný stav a degradaci zdiva byl navržen postup sanačních prací pro obnovu řešeného úseku historické zdi. V zásadě se jedná o uplatnění dvou hlavních přístupů (r. 2017) [9,17,27,28,29]:

**1) Sanace zdiva** - snaha o zachování autenticity původního zdiva a provedení sanačních prací

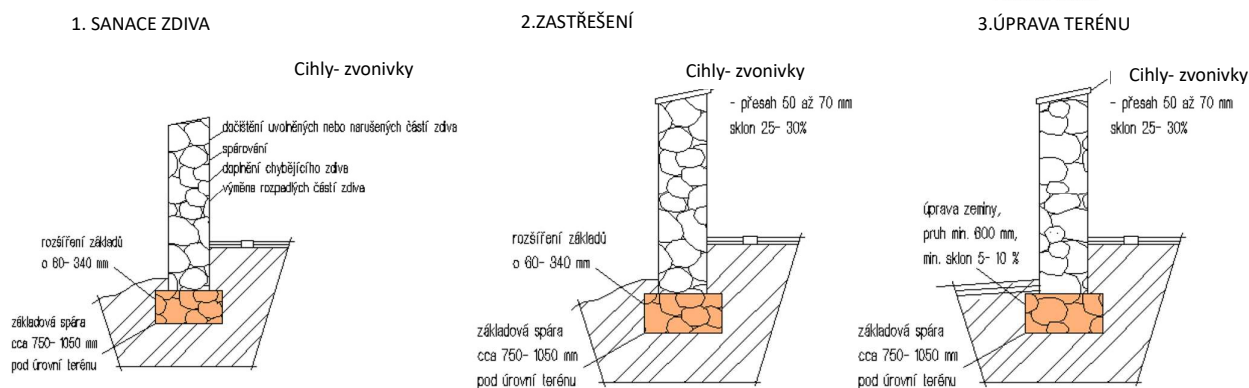


**2) Celková obnova zdiva** - demolice stávající zdi a její nové vyzdění s využitím stávajícího materiálu (kamenného zdiva po odstranění torkretové vrstvy) v místech, kde původní zdivo není možné zachovat.

### 1) Sanace zdiva

V první fázi sanace bude třeba odstranit torkretovou vrstvu, případně všechny další omítky a stávající úpravy koruny stěny. Uvolněné, vypadlé nebo narušené části zdiva budou dočištěny. Veškeré chybějící zdivo bude třeba doplnit, případně velmi rozpadlé části bude nutné nahradit novými zdíciými prvky, tj. opukovými kameny s nízkou nasákavostí (do 15 % hmotnosti) a křemennými příměsemi. Dozdívka bude provedena na vápennou maltu.

Stávající zastřešení zdiva bude nahrazeno novým zastřešením koruny zdiva cihlami typu „zvonivek“ např. v okrové barvě (cihelná Šitbořice). Přesah bude 50 - 70 mm s vypádáním do obory se sklonem 25 - 30 %. Cihly budou uloženy do speciální malty ve vrstvě v požadovanému sklonu.



Obr. 9: Sanace zdiva, varianta 1

### 2) Celková obnova

Tato varianta bude uplatněna v úsecích s velmi degradovaným zdivem nebo na místech, kde by sanace podle varianty č. 1 nebyla proveditelná. S ohledem na historický a kulturní význam obvodového zdiva obory je snaha o vytvoření zdiva s obdobným charakterem. Z tohoto důvodu se jeví jako nejvhodnější řešení vytvoření materiálové a tvarové repliky stávajícího zdiva.

Stavební postup pro obnovu historické zdi je navržen následující:

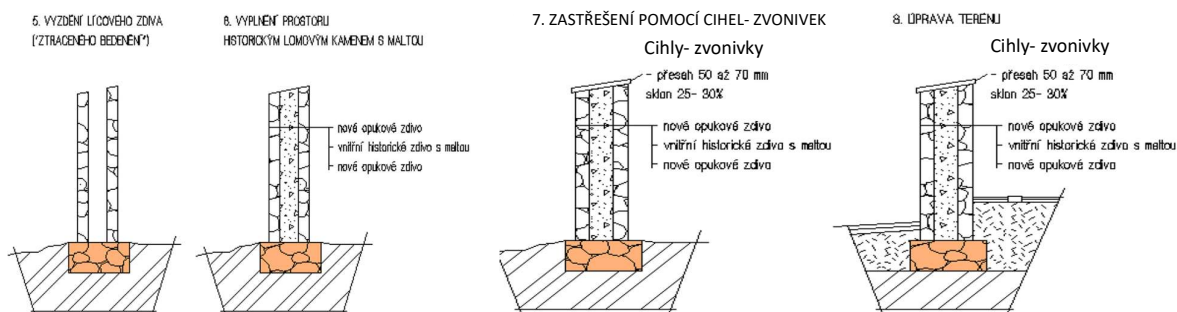
Před provedením nové repliky bude stávající zdivo odstraněno v plném rozsahu - po demolici budou stávající základy obnaženy a mechanicky očištěny. Případné chybějící části zdiva budou doplněny opukovými kvádry. Na základě analýzy základového zdiva je možné provádět zpevňující injektáže maltou. Jednou z nejdůležitějších částí obnovy je samotné vyzdění stěny, nejvhodnějším řešením odpovídajícím historické předloze se jeví provedení zdiva jako **emplekton**. Jedná se o antickou techniku, tedy o druh zdiva, které je tvořeno dvěma lícovými stěnami a výplní mezi nimi z lité malty, prokládané lomovým kamenem. Pro tyto účely bude jako výplňový materiál použita stávající opuka a lícové zdivo bude tvořit „ztracené bednění“. Z opuky shodných vlastností s původně



použitým materiálem. Z dalších známých antických technik zdění se bude konkrétně jednat o způsob vyzdívání **opus incertum**, nazývané rovněž **opus antrum** - tedy metoda, kdy je využito nepravidelné zdivo z lomového kamene.

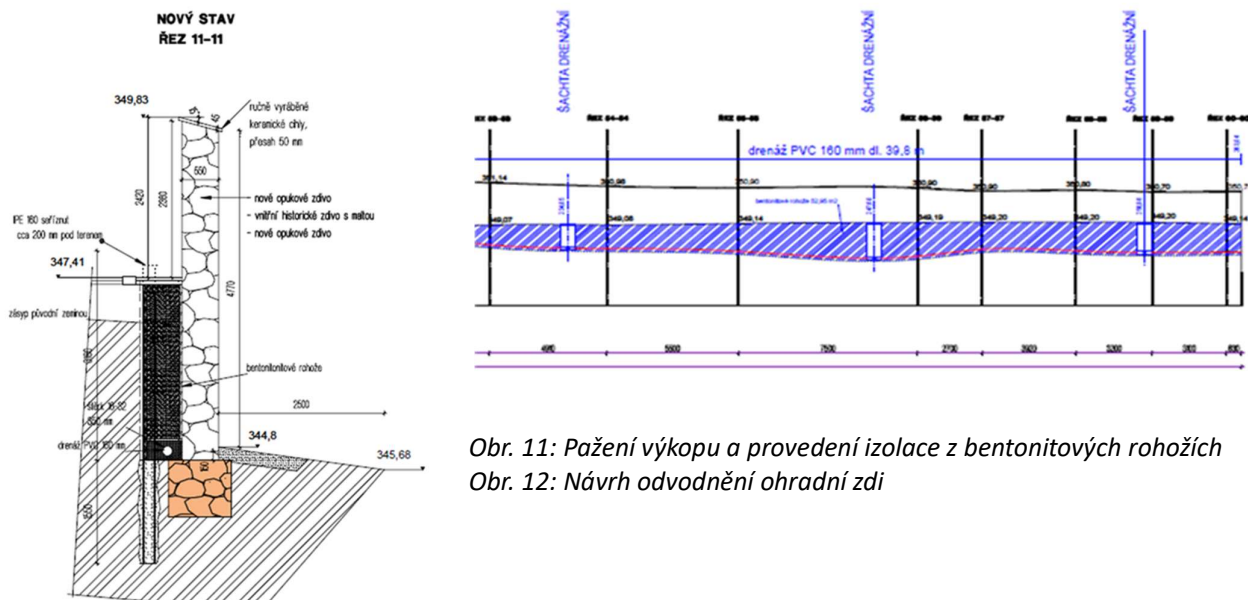
Zastřešení koruny bude provedeno ostře pálenou cihlou kvality červené „zvonivky“ z cihelny Šitbořice s vnějším přesahem 50 mm od líce zdi a s vnitřním přesahem cca 100 mm s vyspádováním směrem do obory se sklonem 25 - 30 %, jako v případě sanační varianty č. 1. Cihly budou uloženy do speciální malty, např. **trasvápenné**, se zatřením spár vodonepropustnou spárovací maltou s trasem. Povrch by měl být pro zvýšení životnosti opatřen vhodným vodoodpudivým nátěrem, např. Porosil ZV. Vrstva bude provedena v požadovanému sklonu.

Dilatační úseky ohradní zdi byly stanoveny cca po 20 metrech. Do nich má být vložen polystyren tl. 10 mm stejně jako u základů.



Obr. 10: Sanace zdiva, varianta 2

Pro zachycení tlaku zeminy při provádění výkopů v místech s velkou rozdílnou výškou terénu na vnější a vnitřní straně zdi bude provedeno záporové pažení. Budou zhotoveny zemní vrty průměru 300 mm po cca 1,5 m a do nich zakotveny I-profilů 160, do kterých budou postupně při provádění vkládány fošny tl. 50 mm impregnované proti vlhkosti.



Obr. 11: Pažení výkopu a provedení izolace z bentonitových rohožích  
Obr. 12: Návrh odvodnění ohradní zdi



Zemní vlhkost bude eliminována provedením izolace z **bentonitových rohoží** na rubové straně zdi a srážkové vody budou odváděny navrženým odvodňovacím systémem. Návrh řešení je zobrazen na *Obr. 11 a 12*.

#### **Doporučené materiálové řešení stanovené na základě laboratorních analýz Kloknerova ústavu [19]:**

- Opukové bloky s nasákavostí max. 15% hmotnosti s křemennými příměsemi (lom Přední Kopanina)  
- Cihly ostře pálené - „zvonivky“, na úpravu zastřešení koruny zdiva - mrazuvzdorné, nasákavost max. 10 %. Malta v kontaktu s opukou by neměla obsahovat cement, ale musí obsahovat hydraulickou složku. V úvahu přicházejí buď malty prefabrikované, označené jako „malta vápenná ruční“ (výrobců typu Premix, Baumit, Hasit, KVK), které ale obsahují malý podíl cementu, jedná se o tzv. malty nastavované. Další možností je příprava malt na stavbě (podle ustanovení ČSN EN 139 14 – 1 § 7.6 - Míchání malt na staveništi a EN 13914-2, obsahuje ustanovení o zpracování návrhů.

1 - malta ze vzdušného vápna, hydraulická složka metakaolin nebo tras. Malta se připraví z vápenné kaše, hydraulická složka (metakaolin) se přidává těsně před aplikací a intenzivně se promíchá.

2 – obdobně se připravuje vápenná malta s přidáním silně hydraulického vápna.

3 – malta ze suché pojivé směsi typu VAPO (vápenné pojivo) ověřená na památkových stavbách, zejména u zdiva z opuky a pískovce. Poměr míchání je 1 objemový díl VAPO a 1 díl písku.

#### **5.1.5 REALIZACE OBNOVY:**

Vzhledem ke stavu původní historické zdi po odstranění torkretové vrstvy nebylo možné realizovat pouze sanaci zdiva (tj. varianta 1), ale bylo přistoupeno k celkové obnově v podobě emplektonu (varianta 2). Byť by se postupem 1 pravděpodobně docílilo autentického vzhledu zdi, ukazovalo se toto řešení i v nejméně zachovalém úseku jako velmi rizikové z pohledu reálně hrozícího opětovného vzniku poruch. Při dalším postupném odstraňování torkretu bylo zřejmé, že zeď není možné zachovat z důvodu její progresivní degradace, snížené pevnosti a samovolnému drolení či vypadávání celých kusů staviva. Na několika místech dosáhl stupeň degradace až havarijního charakteru.

Z pohledu historického významu konstrukce je výhodnější provedení varianty č. 1, nicméně bohužel vzhledem ke stávajícímu stavu zdiva, poničeného nevhodným užitím torkretu, byla stávající zeď odstraněna v celém rozsahu a zdivo bylo uloženo na mezideponii a vytříděno pro další použití. Při realizaci byly využity převážně výše uvedené technologické postupy s menšími změnami, vedoucími ke zkvalitnění celého díla. Tyto navržené změny vycházely především z nově zjištěných skutečností, týkajících se v minulosti použitých technologických postupů či stávajícího stavu základové konstrukce.

#### **Základová konstrukce**

Jedním z problémů, které se během realizace vyskytly, bylo řešení způsobu založení, neboť po rozebrání prvního úseku zdi bylo zjištěno, že základy buď nebyly provedeny v celé délce zdi nebo se z velké části téměř rozpadají. Původním předpokladem bylo zachování stávajících základů a jejich



využití. Vzhledem ke zjištěným skutečnostem bylo navrženo jejich doplnění a zesílení v místech, kde dochází k jejich drolení. Po odstranění částí zbytků zdi byl určen způsob a hloubka založení nové zdi. Základy, které bylo možné zachovat, byly opraveny. V chybějících úsecích byly základy provedeny z betonu třídy C 20/25 XC1.

### Svislá konstrukce

Pro zdění byl použit materiál ze tří zdrojů: kamenivo z původní zdi, opuka z jiné části obory a nový opukový materiál zajištěný v lomu v Přední Kopanině. Vybourané kamenivo bylo postupně odváženo do třídičky. Na základě zjištěné kvality stávajícího zdiva bylo zpětně využito cca 15 - 20 % vybouraného. Při zdění byly provazovány obě lící vrstvy kameniva a byly zachovávány minimální spáry, průběžné vodorovné spáry. Malé kameny byly použity pouze do míst mezi velkými kameny. Pro zdění byla zvolena malta KVK 0261. Vzhledem k nestejně tloušťce prováděné zdi v různých úsecích byla zachována vnější „rovná linie“.



Obr. 13: Stav základů po odkrytí, Obr. 14 - 15: Ukázka zdění

### Schodiště:

Nové schodiště bylo provedeno vyzdáním schodišťových stupňů doplněné novým zábradlím.



Obr. 16: Nový stav zdi, pohled ze strany obory, Obr. 17: Příčný řez zdi s drenáží, Obr. 18: Schodiště, (léto 2019)



Obr. 19, 20: Původní stav zdiva, Obr. 21: Část zdiva po rekonstrukci (r.2019)

### Analýza izolačního systému

Jak již bylo uvedeno, zemní vlhkost bude eliminována provedením hydroizolace z bentonitových rohoží na rubové straně zdi a srážkové vody budou odváděny navrženým odvodňovacím systémem.

#### 5.1.6 ZHODNOCENÍ OBNOVY A JEJICH RIZIKOVÝCH FAKTORŮ

Převážná část obnovy byla provedena na základě druhé varianty. Jedná se o invazivní metodu. Z pohledu zachování autenticity zdiva je jistě výhodnější provedení varianty č. 1, nicméně bohužel vzhledem ke stávajícímu stavu zdiva poškozeného nevhodným užitím torkretu nebylo možné ve většině úseků k této variantě přistoupit. Při realizaci bylo užito výše uvedených postupů a řešení pro vytvoření autentického vzhledu zdi za využití stávajícího historického zdiva. Zdivo je navíc plně funkční a stabilní. Realizace byla započata na podzim 2018.

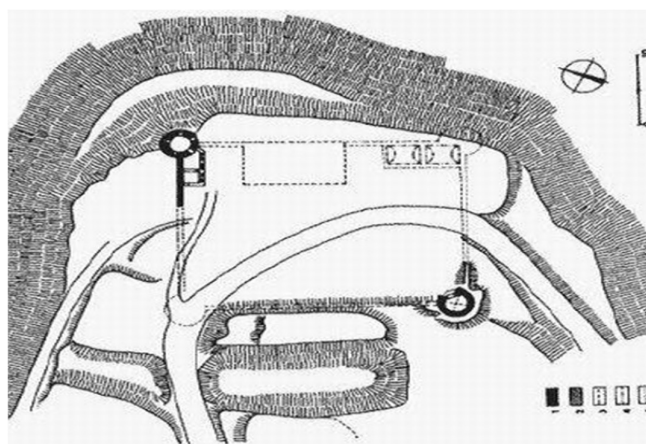
**Za hlavní přínos studie lze považovat praktickou ukázkou analýzy stavu zdiva, v rámci obnovy použití historických technologií a materiálového řešení, které lze považovat za speciální - užití emplektonu, způsob odvodnění a zamezení působení vlhkosti, aplikace materiálů na historické bázi a zároveň moderních technologií, respektujících požadavky NPÚ. Studie ukazuje, že použití moderních a tradičních technologií lze optimálně využít ze zhotovení kvalitního díla. Realizace obnovy byla dokončena v srpnu 2019.**





## **5.2 REKONSTRUKCE ŠLIKOVA HRÁDKU (FREUDENSTEIN) A PŘÍRODNÍHO AMFITEÁTRU**

Účelem průzkumu bylo zjištění funkční způsobilosti, návrh optimálních technologií sanace a posouzení využitelnosti objektu hrádku pro veřejnost. Návrh byl proveden ve spolupráci s NPÚ v Lokti.



Obr. 22: Historický snímek hradu Freudenstein, pohled [131], Obr. 23: Situace areálu Šlikova hrádku [130]

### **5.2.1 STRUČNÝ STAVEBNĚ HISTORICKÝ PRŮZKUM:**

Hrad založil nad jáchymovským údolím na Zámeckém vrchu Štěpán Šlik, který roku 1519 v Jáchymově zahájil ražbu vlastních mincí (pozdější joachimsthaler - Grosch, tolar). Hrad byl postaven podle plánů šlikovského stavitele Jana Münnicha souběžně s městem Jáchymov k ochraně stříbrných dolů v letech 1516 – 1517. S velkou pravděpodobností se tak jedná o nejmladší hrad na území České republiky. Pod vlivem selské války v Sasku a Durynsku se radikalizovali horníci a zaútočili i na hrad, který vypálili. V další fázi třicetileté války, r. 1634 byl hrad téměř zcela zničen švédsko-saským ostřelováním. Roku 1964 vyhořela SV věž. Koncem 90. let minulého století vzniká v SZ části areálu bez povšimnutí státní památkové péče telefonní vysílač a necitlivá novostavba v blízkosti věže Prachárny. [60,61]

### **5.2.2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBJEKTU:**

Areál hradu je 75 m dlouhý a 65 m široký. Orientace jeho podélné osy probíhala přibližně ve směru sever – jih. Do dnešních dnů se z hradu dochovaly pouze dvě věže s fragmenty přiléhajících hradeb. Věž zvaná Šlikovka zaujímá severovýchodní cíp areálu. Její zdivo je provedeno jako smíšené ovšem se zásadní převahou kamenného materiálu. Věž, stejně jako níže popsaný přilehlý fragment hradby, je omítaná. Její fasáda je provedena jako hladká. Pouze lehce předsazené zdivo 4. NP, které je výsledkem přestavby z 3. čtvrtiny 19. století, je vynášeno řadou drobných kamenných konzolek a



navazujícím obloučkovým vlysem využívajícím lomené oblouky. Koruna zdiva je završena výraznou, ovšem jednoduše řešenou, pětkrát odstupňovanou, korunní římsou. Věž má kruhový půdorys o průměru asi 10 m a dosahuje výšky přibližně 20 m. Její střecha je kuželovitá s námětky. Jako střešní krytina je zde využit měděný plech. Ve 2. - 4. NP se nachází skupina střílnových okenních otvorů. Věž je podsklepená, v podlažích jsou dřevěné stropy. K popisované věži přiléhá na západní straně fragment severní hradby, který dosahuje maximální výšky 6 m a délky 18 m. Na jižní straně podélně k hradbě navazuje soudobé jednoramenné dřevěné schodiště, které vede na dřevěnou lávku jdoucí podél hradby a ústící do vchodu do věže ve 2. NP. Lávka spolu s přilehlou částí hradby je zastřešena sedlovou stříškou krytou šindelem. [130,131]

### 5.2.3 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM [18,32,33,36]

#### ANALÝZA HLAVNÍCH VLIVŮ PŮSOBÍCÍCH NA DEGRADACI ŠLIKOVA HRÁDKU:

- **Vliv působení vnějších vlivů v čase:** zejména cyklických klimatických

- **Vliv vlastností zabudovaných materiálů:**

Věž tzv. Šlikovka byla vyzděna ze smíšeného zdiva s převahou kamene. Vlivem doplňování kamene dochází k nespojitým změnám materiálu na rozhraní fází. Degradáční procesy se projevují především zvýšenou vlhkostí, nasákavostí, salinitou apod.

#### PROVEDENÉ PRŮZKUMY

##### 5.2.3.1 Vizualní hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy a zjištěné degradace:

V rámci průzkumu byly zjištěny následující poruchy:

##### Svislé konstrukce:

- Degradace a koroze jednotlivých kusových staviv a malty

a) Vypadávání kusového staviva ze stěny

b) Lokální mechanické porušení svislých konstrukcí

c) Trhliny ve zdivu

d) Vlhkostní mapy na povrchu stěn, chemismus vlhkého zdiva

e) Biologické znehodnocení zdiva svislých konstrukcí (sírné bakterie a nitrifikační plísňe) na povrchu zdiva



Obr. 24 - 26: Stávající stav hradu s poruchami

#### Dřevěné konstrukce: [22,23,37]

Vzhledem k tomu, že většina dřevěných konstrukcí - především krov a vnitřní vestavba stropů se schodištěm byla provedena novodobě, nemá tak historickou hodnotu. Po dohodě s NPÚ bylo rozhodnuto o odstranění těchto konstrukcí a provedení nových, více autentických konstrukcí.

#### 5.2.3.2 Analýza vlhkosti zdiva

Stanovení vlhkosti zdiva bylo provedeno gravimetrickou metodou v souladu s platnými normami ČSN EN 1097-5, ČSN EN ISO 12570. Pro laboratorní analýzu byly odebrány tři reprezentativní vzorky:

- vzorek č. 1 byl odebrán v 1.NP věže přibližně 100 mm nad úroveň stávající podlahy.
- vzorek č.2 byl odebrán v 2.NP věže, okenní otvor.
- vzorek č.3 byl odebrán v 2.NP věže přibližně 200 mm nad úroveň stávající podlahy.

#### Výsledky analýzy:

VZOREK Č.	VLHKOST %	HODNOCENÍ
1	10,8	velmi vysoká
2	7,89	vysoká
3	6,7	zvýšená

Tab. 1: Výsledky vlhkosti zdiva (podzim 2017)

Vlivem zvýšené vlhkosti se mění fyzikální vlastnosti zdiva, zejména jeho tepelně izolační vlastnosti, pevnost a únosnost. Nadměrná vlhkost konstrukcí také zvyšuje vlhkost vzduchu ve vnitřním prostoru. Vysoká a velmi vysoká vlhkost způsobuje na zdivu viditelné závady jako vlhkostní mapy, celkovou degradaci zdiva a omítkových vrstev.

Vzhledem k vysoké vlhkosti dochází k uchycení plísní na povrchu konstrukce. Působením opakovaného navlhání a vysychání povrchových vrstev dochází ke zvětrávání zdiva.



### 5.2.3.3 Chemická analýza - salinita zdiva

S vlhkostí se ve zdivu současně pohybují rozpustné soli, které mají schopnost na sebe vázat vzdušnou vlhkost a zasolené stavební materiály se pak projevují jako vlhké. Mezi velice závažné problémy patří koroze zdiva, způsobená hydratačními a krystalizačními tlaky při změně krystalické formy solí. Tento jev způsobují zejména sírany. Během průzkumu Šlikova hrádku byla analyzována i přítomnost dusičnanů a chloridů, které jsou silně hygroskopické a zvyšují celkové zavlhčení zdiva. Z druhu a množství solí je možné určit způsob migrace do zdiva.

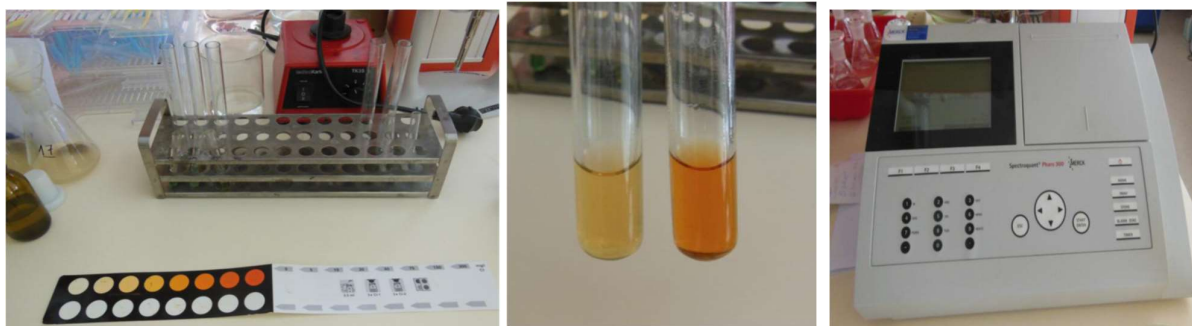
Existuje řada metod pro určení obsahu solí ve zdivu. Při chemické metodě se určují anionty solí, kationty jsou stanovovány výjimečně. Mezi další používané metody patří metody gravimetrické a také postupy, které využívají iontově selektivní elektrody nebo spektrální metody. Rozsah zasolení je možné určit orientačně dle vizuálního hodnocení vlhkostních map, případně pomocí vlhkoměrů indukujících zavlhčení povrchových vrstev zdiva.

Při chemické metodě byly stanoveny anionty solí. Rozsah zasolení byl určen z vlhkostních map, v jejichž oblasti byly vzorky odebrány. Salinita a vlhkost zdiva byla určována vždy v laboratoři K124 ČVUT. [22,23,36]

#### Postup analýzy:

Po rozdrobení vzorku v třecí misce byly naváženy přibližně 2g, které se přesypaly do Erlenmeyerovy baňky o obsahu 200 - 250 ml. Materiál se zalil 100 ml destilované vody. Následně se směs povařila a na 10 minut byla vystavena ultrazvuku. Přes noc se vzorek nechal sedimentovat. Druhý den byl přefiltrován pomocí filtračního papíru do připravené nádoby pro stanovení pH, chloridů, amoniaku, dusičnanů a síranů.

Postup stanovení obsahu jednotlivých solí spočívá v měření absorbance světla vzorkem při určitém rozsahu vlnových délek. Kvantitativní stanovení bylo provedeno na UV - VIS fotometru Spectroquant Pharo 300.



Obr. 27 – 29: Laboratorní analýza vzorků, stanovení salinity

**Výsledky analýzy:**

Č. VZORKU	ph	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
2	7	0,97	0,03	1,03	4,45
		velmi vysoký		velmi vysoký	vysoký
3	9	0,16	0,02	0,5847	6,53
		zvýšený		velmi vysoký	vysoký

Tab.2: Výsledky chemické analýzy vzorků zdiva Šlikova hrádku v % hmotnosti (duben 2018)

**5.2.3.4 Analýza omítek - ÚTAM [140]**

Jedná se o analýzu struktury a chemického složení omítkových souvrství, která byla provedena v květnu 2018 na ÚTAM AV ČR, v.v.vi. Vlastní podrobná analýza je součástí samostatného protokolu, zde jsou pro vhodný návrh sanace omítek shrnuty základní poznatky.

Z objektu byly odebrány následující vzorky:

- vzorky vnější omítky s tmavě šedým povrchem, odebrané z fasády v 1.NP (značení 1 A, 1 B)
- vzorek vnější omítky s bílou povrchovou úpravou odebraný z fasády v 1.NP (značení 2)
- vzorek vnitřní omítky odebraný ve 2. NP (značení 3)
- vzorek omítky s bílou povrchovou úpravou odebraný na fasádě v 1. NP (značení 4)



Obr. 30: Vzorek 1 B, Obr. 31: Vzorek 2, Obr. 32: Vzorek 2 [68]

**Výsledky analýzy**

**Vzorky 1A a 1B:** Jedná se o cementovou maltu s čedičovým plnivem. Velikost ostrohranných zrn čediče se pohybuje v rozmezí 0,1 až 6 mm.

**Vzorek 2:** Vrstva 1 – povrchová úprava (bílý nátěr nebo nástřik) má tloušťku 2 mm, použitým plnivem jsou zrna vápence a dolomitu až do velikosti 0,5 mm. Vrstvy 2 a 3 jsou plněny křemenným pískem se zrný živců a především slíd.

**Vzorek 3:** Dle vyšetření pomocí elektronové mikroskopie se vzorek 3 skládá z následujících vrstev: Vrstva 1 – povrchová úprava – tloušťky 50 – 80 mikrometrů, složení se jeví stejné jako u nátěru vzorku 2 – vápencová moučka (s podílem dolomitu) v neidentifikovaném pojivu.



Vrstva 2 – povrchová úprava – tloušťka cca 150-200 mikrometrů, bílý nátěr s obsahem titanové běloby a sádrovce.

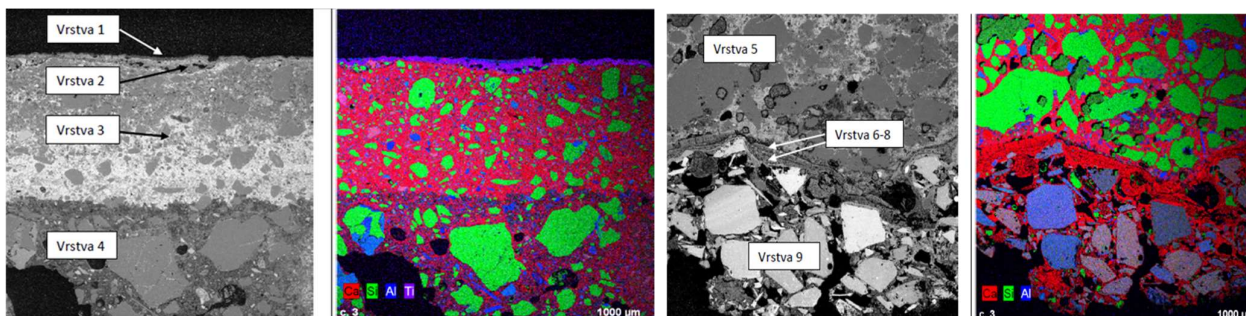
Vrstva 3 – štuková vrstva, tloušťka cca 2 mm, hydraulické pojivo cementového typu s obsahem strusky, částice strusky mají velikost přibližně 100 mikrometrů a na jejich obvodě je patrný reakční lem.

Vrstva 4 – vrstva malty, tloušťka cca 1 cm, vysoce hydraulické pojivo cementového typu, kamenivo křemenné směsné s velikostí zrn do 2 mm.

Vrstva 5 – vrstva malty, tloušťka cca 2 mm, pojivo hydraulické vápno o složení CaO 80 %, SiO<sub>2</sub> 12 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4 %, MgO 1 %, kamenivo křemenné s velikostí do 2 mm.

Vrstvy 6 až 8 – vápenný nátěr, vzdušné vápno.

Vrstva 9 – vrstva malty s pojivem ze vzdušného vápna, kamenivem jsou zrna tmavé vyvřelé horniny



Obr. 33 - 36: Vzorek 3 (elektronová mikroskopie), [68]

**Vzorek 4:** Na vzorku je pozorovatelná vrstva povrchové úpravy – tloušťky 2 mm, použitým plnivem jsou zrna vápence a dolomitu až do velikosti 0,5 mm. Pod touto vrstvou se nachází vlastní omítka v tloušťce asi 2 cm.

### Závěr analýzy:

#### Výstavba vnějšího omítkového souvrství

Vzorek 1 dokládá úpravu části fasády v 1. NP věže, kde je na cementové omítce a vápenocementové štukové vrstvě nanášena další cementová omítka. Spodní cementová omítka a štuková vrstva obsahují písek se zrnky křemene, živců a slídy. Vrchní cementová omítka obsahuje černé čedičové plnivo (kamenivo).

Vzorek 2 dokládá úpravu fasády v 1. NP věže, kde je na cementové omítce a vápenocementové štukové vrstvě nanášen bílý nátěr (nebo ev. nástřík) s bílým vápencovým a dolomitickým plnivem.

Cementová omítka a štuková vrstva má složení shodné s omítkou a štukovou vrstvou ve vzorku 1 (obsahují písek se zrnky křemene, živců a slídy).



Vzorek 4 dokládá úpravu fasády v 1. NP věže, kde je na omítce z hydraulického pojiva se struskou nanesen bílý nátěr (nebo ev. nástřik) s bílým vápencovým a dolomitickým plnivem. Omítka je plněna pískem z křemene, živců a slíd. Bílý nátěr (nebo ev. nástřik) je shodný s nátěrem, který je na vzorku 2.

#### **Výstavba vnitřního omítkového souvrství**

Vzorek 3 dokládá vnitřní úpravu zdi ve 2 NP věže. Nalezené vrstvy byly popsány odshora dolů takto:

vrstva 1 - povrchová úprava

vrstva 2 - povrchová úprava

vrstva 3 - štuk

vrstva 4 - strusko-cementová malta

vrstva 5 - omítka s pojivem hydraulickým vápnem

vrstva 6 - vápenný nátěr

vrstva 7 - vápenný nátěr

vrstva 8 - vápenný nátěr

vrstva 9 - vápenná malta s čedičovým kamenivem

#### **5.2.4 SHRNU TÍ PŘÍČIN PORUCH**

Hlavní faktory podílející se na vzniku degradace šlikova hrádka jsou následující [32,34]:

- Pronikání vlhkosti do konstrukce (atmosférická a podpovrchová voda, provozní vlhkost)
- Klimatická zatížení (účinky větru, sněhu, teplotní změny).
- Vznik trhlin (trhliny vzniklé na rozhraní styku zdiva různých materiálů a vlivem objemových změn tlustší omítkové vrstvy).
- Požár a opotřebením časem (pozůstatky po termickém zatížení u svislých konstrukcí pod omítkovou vrstvou)

#### **Analýza vlivu přítomnosti vlhkosti a solí:**

V důsledku dlouhodobého namáhání konstrukce vlhkostí byla vyvolána řada poruch. Mezi hlavní zdroje vlhkosti v konstrukci patří: voda srážková, pronikající voda z přilehlého terénu, voda vztlínající. S vlhkostí ve zdivu úzce souvisí i salinita zdiva. Přítomností solí se zdivo stává hygroskopickým a mění kapilární vlastnosti stavebních materiálů. Mimo jiné dochází k ucpání pórů na povrchu zdiva, čímž se zamezuje přirozenému odpařování vlhkosti povrchem zdiva. Soli se do zdiva dostávají nejrůznějšími způsoby, např. část síranů se do zdiva dostává zeminou, jedná se tedy o spodní vodu s rozpuštěnými síranem, která působí na základovou konstrukci, případně spodní stavbu. Oxidy síry mohou být také zodpovědné za porušení povrchu fasády objektu (kyselá dešť). Lze předpokládat, že dusičnany a sírany se ve zdivu vyskytují i z důvodu dřívějšího využití věže - k uskladnění střelného prachu. Původní černý střelný prach byl totiž směsí jemně mletého draselného ledku neboli dusičnanu draselného, dřevěného uhlí a síry. [30,32,34,35]



### 5.2.5 NÁVRH REKONSTRUKCE ŠLIKOVA HRÁDKU

Vlastní návrh rekonstrukce je v této části shrnut do jednoduchého diagramu, který vznikl na základě jednání s NPÚ. V návaznosti na požadavky památkové péče a odlišné názory jejich pracovníků bylo do značné míry velmi problematické stanovit jednoznačný postup. Diagram zobrazuje klíčové momenty, kdy bude nutné rozhodnout o dalším postupu v rámci realizace rekonstrukce. Detailnější rozbor návrhu rekonstrukce je součástí projektové dokumentace této akce. Níže jsou uvedeny hlavní body (r. 2017) [2,28,31,39,40,42,43,132]:

#### SANACE SVISLÝCH KONSTRUKCÍ:

Pro sanaci svislých konstrukcí bylo navrženo více variant (viz. níže uvedený diagram), nicméně po konečném projednání s NPÚ bylo rozhodnuto pouze o provedení následujících kroků:

- **odstranění solí:** mikrotryskání zdiva, metoda odsolování pomocí čistících past a zábalů
  
- **odstranění biokoroze:** aplikace čistícího prostředku [31,32]
  
- **spárování kamenného zdiva:** při spárování bude doplněna chybějící malta ve styčných a ložných spárách zdiva, ale v pouze v částech zdiva, kde např. nenastala změna polohy kamenů ve zdivu. V případě použití hloubkového spárování na některých místech je třeba použít vysoce plastickou injektážní maltu (kašovitou až tekutou).
  
- **přezdění, dozdění:** použitá malta - na zdění bylo navrženo použít vápennou maltu, k jejíž výrobě se použije hydraulické vápno (z důvodu vyšší erozní odolnosti, čili trvanlivosti – životnosti). Nejvhodnějším plnivem do zdicí malty je hrubozrný písek s opracovanými (oblými) zrny. Reálně se používá písek z proseté sutiny zvětralého zdiva, který se doplňuje chybějící frakcí písku, resp. i drobného šterku. Někdy nepostačuje prosetí, ale maltovou sutinu je třeba proplavovat, aby neobsahovala hlínu a prach, které jsou v maltě nežádoucí.
  
- **plombování kaveren:** společným problémem sanace těchto poruch je aktivace doplněného (dozděného) zdiva. Po zaplombování kaverny totiž chybí v novém zdivu dostatečně velké svislé tlakové napětí. Smršťování malty situaci ještě zhoršuje. Tento problém je možný vyřešit vyplněním poslední vodorovné ložné spáry (ve styku s původním zdivem) expanzní maltou s omezeným rozpínavým účinkem během tuhnutí. Po zatvrdnutí této malty se v doplněné části průřezu vyvolává dostatečné svislé tlakové předpětí, čímž se aktivuje nové zdivo.
  
- **provedení omítek:** omítková vrstva bude provedena ve vnější části věže v úrovni 4.NP, materiálově bude odpovídat výsledkům analýzy provedené ÚTAM. Snahou bude návrat k nejstarším nalezeným omítkám. Při realizaci je navrženo provedení pásových sond, které by mohly odhalit i jiné historicky cenné omítky, které by bylo nutné dle pokynů NPÚ konzervovat. Provedená analýza však poukazuje na přítomnost omítek, pocházejících z cca 19. století.



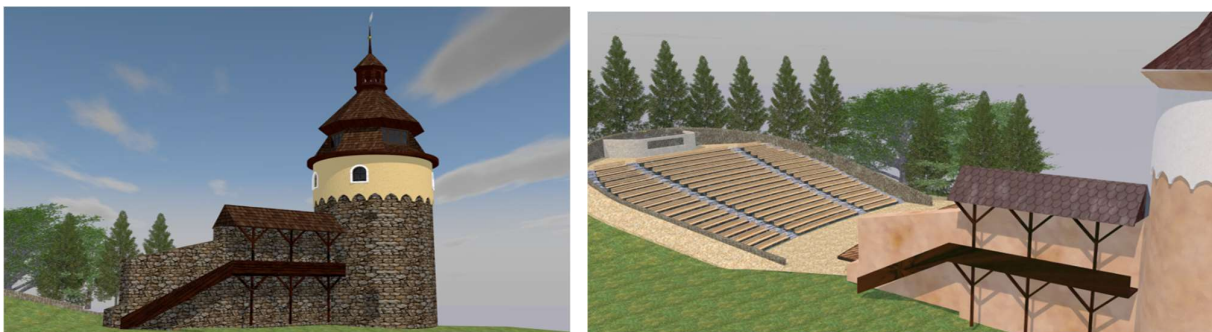


Ze strany památkové péče se objevilo několik názorů na finální vzhled fasády, o kterých se stále jedná. Jedním z nich je provedení omítky po snížení vlhkosti a obsahu solí (prozatím ponechání bez omítky), další variantou je provedení omítky v úrovni 4.NP, kde se soli nevyskytují a vlhkost je na minimální úrovni. Další možností je pochopitelně provedení omítky v celém rozsahu, nicméně finální vrstvě bude patrně předcházet provedení tzv. „obětované“ omítky, resp. sanační. [41,44,51,52]



Obr. 37: Historický stav (archivní snímek rytiny) [130], Obr. 38: Vizualizace vývoje návrhu nového stavu, Obr. 39: detail nového zastřešení

- **provedení amfiteatru:** amfiteatr je situován do oblasti bez archeologického naleziště. Tato skutečnost je v současné době ověřována v rámci provádění archeologických průzkumů v areálu.



Obr. 40 - 41: Vizualizace nového stavu hradu a amfiteatru

### 5.2.6 ZHODNOCENÍ REKONSTRUKCE A JEJICH RIZIKOVÝCH FAKTORŮ

Návrh řešení ukazuje citlivý přístup k rozsáhlé rekonstrukci historického objektu a zároveň reflektuje mnohdy náročné a nejednotné požadavky pracovníků památkové péče.

**Za hlavní přínos studie lze považovat laboratorní analýzy zabudovaných konstrukcí, rozbor chemických vlastností materiálů, analýzu historického stavitelství i přístupu k rekonstrukci a především výstup z výzkumné činnosti, týkající se rozboru omítkových vrstev, který proběhl ve spolupráci s ÚTAM. Při návrhu rekonstrukce byly uplatněny materiály a technologie vhodné pro historické objekty [44 - 51]. Zajímavou částí byla diskuze (konfrontace) s pracovníky NPÚ o realizaci omítkových vrstev věže.**



### SHRNUTÍ REKONSTRUKCE ŠLIKOVA HRÁDKU

- Demolice stávajícího krovu a vnitřní dřevěné kostrukce
  - Provedení dřevěné vestavby a nového krovu- zvolen novodobý vzhled dle rozhodnutí NPÚ
  - Provedení truhlářských prvků a interiérového vybavení věže (repase oken a dveří)
  - Provedení dělicích dřevěných příček včetně navrženého sociálního zařízení
  - Provedení klempířských prvků
- ↓
- Za současného provádění sanace zdiva

↓

- provedení pásových sond a průzkumů omítek  
- odstranění vnitřních a vnějších (pravděpodobně historicky necenných- třeba ověřit) omítek

*pozn. v případě nalezení historicky cenné vrstvy, postupovat dle pokynů NPÚ*

↓

- monitoring vlhkosti a salinity v delším časovém období

*není třeba dodržet v případě postupu 1*

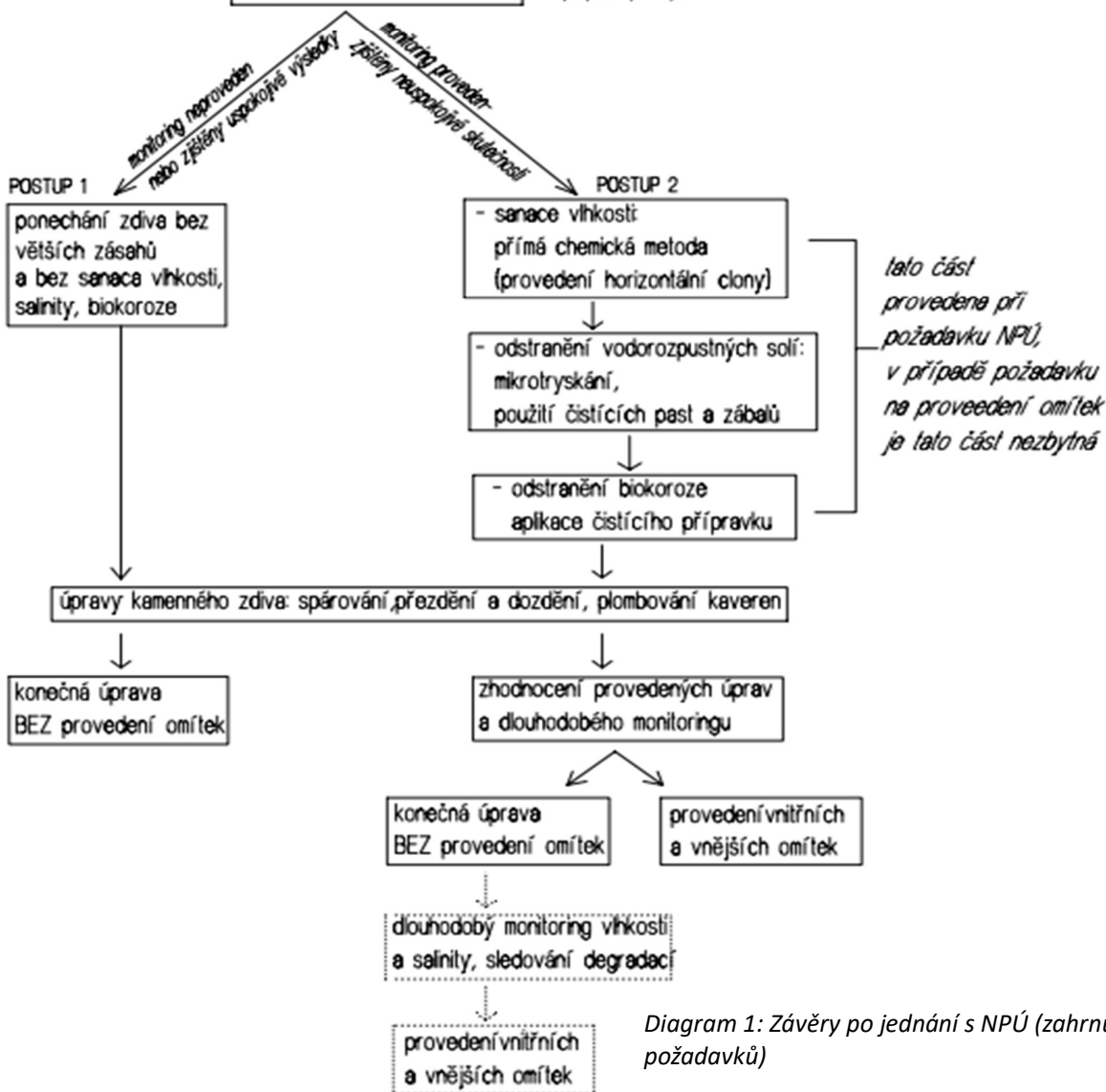


Diagram 1: Závěry po jednání s NPÚ (zahrnutí požadavků)



### **5.3 REKONSTRUKCE HISTORICKÉHO MOSTU V LOKALITĚ PORTZ INSEL**

Studie prezentuje stavebně technický průzkum, na jehož základě byla navržena rekonstrukce téměř zapomenutého historického klenbového mostu ze 17. století v lokalitě Portz Insel u Mikulova. Sto metrů dlouhý most kdysi sloužil jako jediná přístupová cesta přes dnes již vysušený rybník na ostrov Portz Insel.

Účelem průzkumu bylo stanovení funkční způsobilosti a trvanlivosti mostu včetně posouzení jeho využitelnosti. Z tohoto důvodu byly provedeny průzkumy a sondy pro zjištění založení konstrukce a pro určení tvaru pilířů, které byly několik desetiletí zasypány. Pomocí sond byla na několika místech ověřena skladba mostovky.

V současné době byla rekonstrukce mostu dokončena v rámci projektu „Mikulov, Portz Insel - obnova komponované historické krajiny“. Návrh a realizace obnovy splňují požadavky NPÚ.



*Obr. 42: Most v lokalitě Portz Insel - pohled na most (2016)*

#### **5.3.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBJEKTU:**

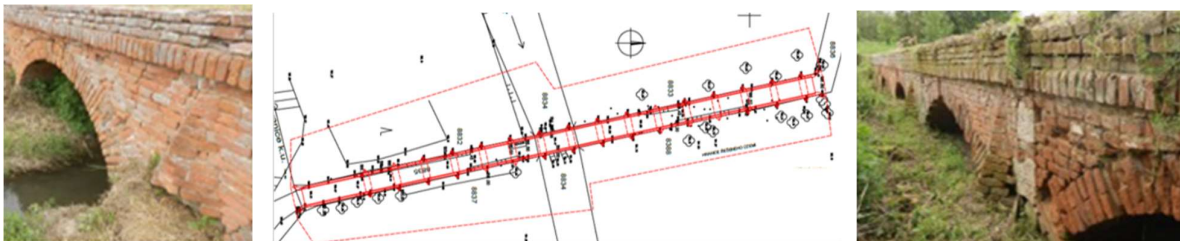
Most leží ve významné historické krajině Portz Insel u Mikulova na státní hranici ČR s Rakouskem. Most byl postaven kolem r. 1636 spolu s letohrádkem Portz. V době zpracování průzkumů a PD (r. 2016) byl most z velké části pod násypem zeminy. Účelem mostu bylo převedení komunikace přes rybník Portz, který byl v době průzkumů rovněž zasypáný. Mezi pilíři 7 a 8 již několik desítek let protékal potok. Původní stav mostu je zachycen na *Obr. 42*.

Most má významnou historickou hodnotu, je součástí letohrádku Portz, který je kulturní nemovitou památkou. Cílem projektu je obnovit část historické cestní sítě na ostrově a vytvořit nové komunikační propojení historického mostu se současnou silniční sítí vedoucí do Zollamt - Drassenhofenu.

Mostní konstrukce délky cca 100 m je tvořena šestnácti masivními cihelnými pilíři s jehlancovými břity a s patnácti klenbami. Desáté pole bylo původně tvořeno dřevěným padacím mostem, což je zachyceno ještě na mapách z první třetiny devatenáctého století (*Obr. 48*). Parapetní zídky jsou cihelné. V násypu byla provedena vrstva jílové izolace jako součást hydroizolačního systému. Odvodnění bylo realizováno chrličí přes poprsní zídku. Chrliče jsou sestaveny ze dvou půlek, tvořících trubku délky cca 450 mm. Základy mostních pilířů jsou plošné, cihelné.



Pilíře mostu byly pravděpodobně založeny na dubových prazích v úrovni vodní hladiny. V době průzkumů byl na mostovce nános vegetace.



Obr. 43: Stávající stav, Obr. 44: Situace mostu a navazujícího okolí, Obr. 45: Stávající stav



Obr. 46: Pohled na most, Obr. 47: Historická mapa mikulovského panství zhotovená roku 1672 Clemensem Beuttlerelem z Ebelberga pro knížete Ferdinanda z Dietrichsteina. Výřez dochovaného fragmentu zachycuje průběh moravsko – rakouské hranice [130]

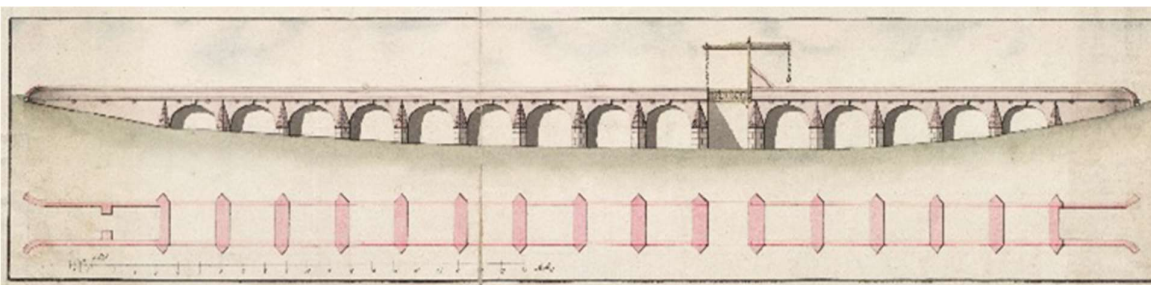
### 5.3.2 STRUČNÝ STAVEBNĚ HISTORICKÝ PRŮZKUM:

Most, který je patrně nejstarším barokním mostem v Čechách, byl postaven v roce 1636. Tehdejší území bylo součástí velkoryse komponované příměstské krajiny, kterou nechal vybudovat v 17. století kardinál Dietrichstein. Jedná se o jednu z prvních urbanizovaných příměstských krajin na Moravě a pravděpodobně i v širším prostoru na sever od Alp. Na ostrově v rybníku Portz (dnes Nový rybník) vyrostl Lusthaus v libosadu s květinovým parterem a lesní zahradou (oborou). Krátký úsek příjezdové cesty od bývalé císařské silnice z Vídně směrem k zámečku vedl přímo po historické hranici s Rakouskem. Ostrovní areál, spojený s městem Sedlec dlouhým cihlovým mostem a dva a půl kilometru dlouhým oboustranným stromořadím je mimořádným architektonickým dílem své doby. Tento areál je zobrazen na původní mapě ze 17. století (Obr. 44). Ještě koncem 19. století je historiky označován jako krajinářský klenot jedinečné krásy. Most byl údajně svědkem proměnlivého průběhu hranic napříč areálem. V určitých historických etapách ležel tedy areál na území českém, v jiných etapách ležel z větší části na území rakouském.



Nejstarší dochovaný záznam o plánované rekonstrukci mostu a okolí je z doby, kdy kníže Dietrichstein zaslal mikulovskému hejtmanovi instrukce, které bylo nutné vykonat v rámci opatření pro předem ohlášenou návštěvu císaře Leopolda I. na mikulovském zámku:

*„Můstek na Insel ať je vysypán drobným štěrkem z lomu. Na Inslu je nutné opravit ohradní zeď kolem parčíku loveckého zámečku, vysadit zde špalír z křovin. V parčíku (Lustgarden) nahoře, kudy se jde k Themelově zahrádce, opatřit branku latěmi, aby zvěř nemohla do okrasné zahrady. Mělo by zde být 20-30 zajíců, protože císař tu bude lovit.“ [133]*



Obr. 48: Historický plán mostu zachycující původní podobu ještě s dřevěným padacím polem, zdroj: MZA v Brně, fond F 18 Hlavní registratura Ditrichštejnů v Mikulově

Přibližně po 250 letech nastal postupný úpadek komponované krajiny spojený s vysušením rybníka v r. 1855 a realizací železniční tratě Břeclav - Znojmo v roce 1872. Nově vytvořený násep přeťal příjezdovou komunikaci od nedalekého mostu a zcela tak změnil celkovou dispozici. Úplný zánik komponované krajiny a hospodářského využívání území nastal po zřízení hraničního pásma po roce 1948. V letech 1949 - 89 byl nepřístupný, neboť ležel v hraničním pásmu. Za tratí směrem k rakouské straně byl zbudován liniový zátaras tzv. železné opony. Jednalo se o přísně střežené hraniční pásmo v bezprostřední blízkosti státní hranice s Rakouskem. [53,54,55]

### 5.3.3 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM - PROVEDENÉ PRŮZKUMY

#### 5.3.3.1 Vizualní hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy a zjištěné degradace

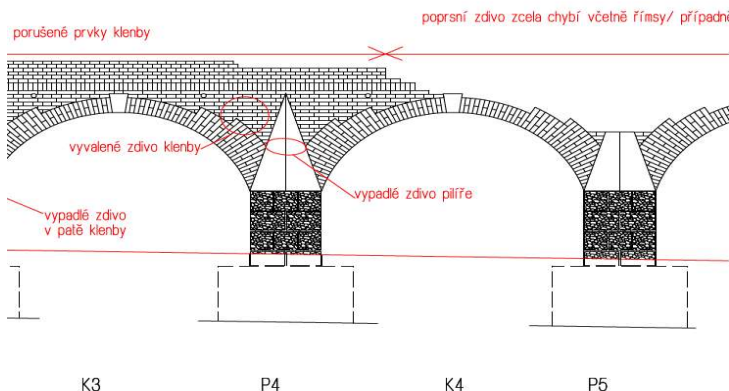
Na základě vizuálního hodnocení vybrané části mostu (nejvíce odkrytá oblast mezi pilíři 7 - 8) byly identifikovány poruchy, které se vyskytují i v dalších částech konstrukce [7,53,55,57,60].

- Degradace a koroze jednotlivých kusových staviv a malty
- Vypadávání kusového staviva z různých částí mostu (včetně celých řad zdiva v daném úseku)
- Projevy vlhkosti, nefunkční hydroizolace (jílové těsnění) a odvodňovače (keramické chrliče)
- Zřícení poprsných zídek
- Biodegradace
- Vandalismus



### Klenba 3 - pilíř 5:

Tyto pilíře a jejich základové konstrukce byly v době průzkumů zasypany stejně jako pilíře v dalších částech mostu. U 3. klenby došlo působením vlhkosti k narušení zdiva v patě klenby a částečnému vyvalení zdiva poprsní zídky. Zdící prvky jsou porušené a dochází zde k vymývání pojiva. U 4. klenby zcela chybělo poprsní zdivo včetně římsy. Klenba zde byla odkryta, což vedlo k jejímu zanesení vrstvou hlíny a vegetací - viz Obr. 50.

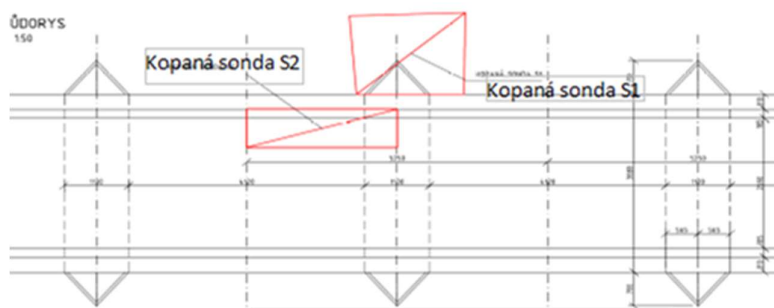


Obr. 49: Dokumentace poruch mostní konstrukce

Obr. 50: Poruchy na 4. klenbě

### 5.3.3.2 Analýza a stanovení únosnosti mostu

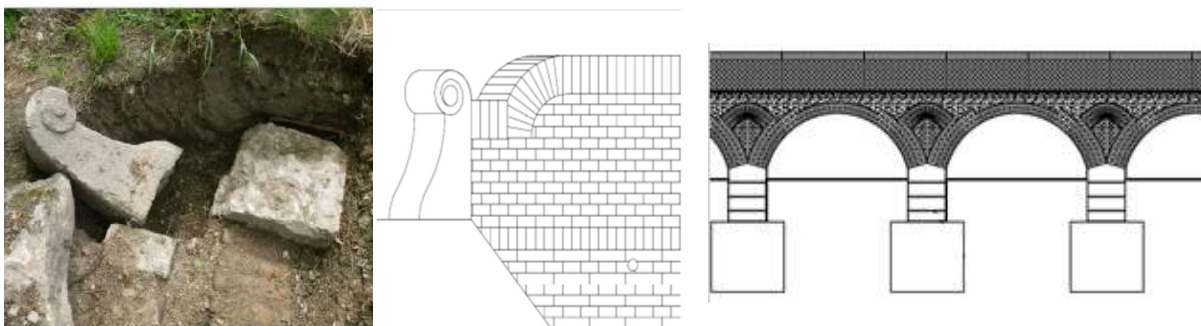
**kopané sondy:** kopanou sondou (S1) bylo třeba zjistit zejména založení mostu. Sonda S1 byla vykopána u pilíře číslo 6 na západní straně mostu. V této sondě byly zastiženy pod patou cihelných kleneb mostu kamenné pilíře šířky cca 1,15 m provedené z velkých kamenných bloků. V místě provedené sondy se jedná o 4 vrstvy bloků o celkové výšce cca 1,5 m. Pod touto úrovní bylo zjištěno rozšíření základů cca o 0,5 m. Vlastní oblouky mostu tvoří klenby z plných pálených cihel. V patě začíná klenba tloušťky 0,6 m a přechází v klenbu tloušťky 0,45 m. Ve střední části je klenba tloušťky 0,3 m. Cihly jsou o něco větších rozměrů než současné plné pálené cihly. Šířka cihel je cca 150 mm a délka 300-310 mm. Ve vrcholu kleneb tvoří klenáky 4 kónické cihly.



Obr. 51: Kopaná sonda S1 u pilíře č. 6, Obr. 52: Stávající stav mostu - zakreslení sondy



Ve druhé kopané sondě (S2) byla odkryta nad pilířem pata klenby šikmo zazděna, úroveň zadržky je ve středu pilíře přibližně v úrovni rubu klenby ve vrcholu. Poprsní zdi a cihelné zábradlí se na konci mostu rozevíraly a byly opatřeny kamennými nákolníky, což je patrné ze sondy S3 u klenby 10. Dle požadavku NPÚ bylo třeba chybějící nákolníky doplnit s důsledným zachováním jejich původního vzhledu. (Obr. 51)



Obr. 53: Nález nákolníků, Obr. 54: Navržený nový stav, Obr. 55: Řez - stávající stav

#### Stanovení materiálových charakteristik:

Dle dochované dokumentace mostu z roku 1620 byl most se zvýrazněnými břity omítnut. Na některých cihlách byly při průzkumech stále patrné zbytky původní omítky. Cihly byly provedeny z velmi kvalitního materiálu, který po staletí odolal cyklickému působení mrazu a dalších vlivů. Cihly byly podrobeny laboratorním analýzám, které neprokázaly zásadní působení degradačních procesů, zapříčiňující změny vlastností materiálu. V 17. století byla technologie výroby cihel pomalejší - cihláři napěchovali hlínu do forem a před vlastním vypálením ji nechávali měsíce schnout. Takovýto výrobní proces zaručoval vysokou pevnost cihel. Většina cihel na mostě byla označena písmenem „N“, což je značka cihly neboli výrobní kolek. Toto značení mělo velký rozmach právě v 17. století u barokních staveb. Podle některých historiků měla písmena či čísla značit určitou kvalitu cihel z dané cihelny. Předpokládá se, že písmeno „N“ znamenalo iniciály místa cihelny (Nicolsburg), kde byly cihly vyrobeny. [55,57,58]

V provedené sondě je také viditelné zdivo „protiklenby“ nad pilíři, která zachycuje vodorovné síly vznikající v oblasti paty kleneb (Obr. 55).

#### Stanovení vlastnosti mostovky (její izolace, odvodnění) a zásypu klenby:

Na základě odběrů původního materiálu mostovky, zásypu klenby a jejich laboratorního vyhodnocení byly zjištěny následující skutečnosti: dle provedené sondy byla původní mostovka mlatová na hlinitokamenitém zásypu s **jílovou izolací v úrovni dvoudílných odtokových cihelných trubek**. Tloušťka vrstvy je cca 60 až 100 mm. V odkrytých částech je patrné, že jílová vrstva má kamennou příměs. K promísení jílu mohlo dojít tak, že vrstva mlatu se postupně vmísila do jílového těsnění. Vrstva působí celistvým dojmem. Odtokové trubky byly v každém poli vyústěny do bočního líce, vždy po obou stranách mostu a byly sice stále viditelné, ale všeobecně ve špatném stavu. Pro



zachování jejich funkce odvodnění je třeba zakázkově vyrobit repliky. Pod jílovou izolací je až k rubu klenby hlinitokamenitý zásep obdobného složení jako pod vozovkou. [55,56]



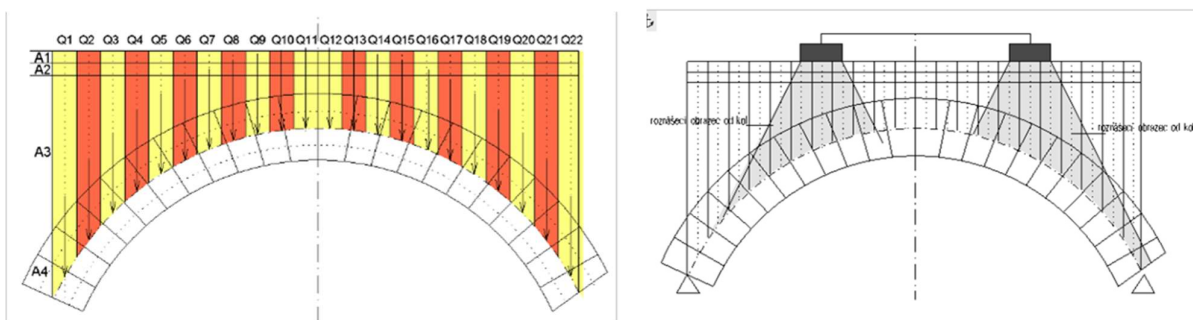
Obr. 56: Nefunkční odvodňovač, Obr. 57: Jílová vrstva

### Posouzení pevnosti zdiva a stanovení únosnosti mostu:

Posouzení únosnosti mostu vychází z odborného odhadu. Podle kvality cihel téměř po 400 letech jejich existence je zřejmé, že se jednalo o ostře pálené cihly s pevností v tlaku pravděpodobně větší než  $f_c = 30$  MPa. Vzhledem k narušení povrchu působením vlhkosti a povětrnosti byla pro výpočet snížena pevnost cihel  $f_m = 1$  MPa. Pro výpočet byla uvažována hodnota  $f_m = 0,5$  MPa [59,60].

Pro vstupní výpočet byla využita grafická metoda řešení klenby, ověřující vybočení tlakové čáry z jádra průřezu klenby. Podrobnější výpočet byl proveden na 3D modelu v programu Scia Engineer.

Most byl posuzován podle normy ČSN EN 1991-2 (Zatížení mostů dopravou). Tato norma pro zatížení chodníku nebo cyklistického pruhu uvádí charakteristickou hodnotu užitého zatížení  $q_{fk} = 5$  kN/m<sup>2</sup>. Dále bylo provedeno posouzení pro zatížení vozidly do celkové tíhy 30 kN za předpokladu, že se toto vozidlo pohybuje menší rychlostí než 10 km/hod a nevznikají dynamické síly.



Obr. 58 - 59: Zatěžovací stavy mostu

### 5.3.3.3 Analýza vlhkosti

Pro stanovení vlhkostního režimu byla vybrána jedna klenba, která reprezentuje chování celé mostní konstrukce [7,32,33,55].





Tab. 3: Výsledky analýzy vlhkosti mostu Portz Insel ( červenec 2016)

Vlhkostní analýza		
Vzorek č.	pozice	vlhkost % hm
1	pata klenby	5
2	vrchol klenby	15
3	pata klenby	6,2

- **Voda srážková:** je hlavní příčinou vysoké vlhkosti zdiva. Voda z mostovky prosakuje do vrstev násypu až na klenbu. Na mnoha místech, kde není násyp (např. klenba 11, 12 apod.), působí srážková voda přímo na klenbu a dále prosakuje až na její spodní líc. Pro odvedení vody z mostovky měly sloužit cihelné trubky. Původní mostovka byla dle provedené sondy mlatová na hlinitokamenitém zásypu s jílovou izolací v úrovni dvoudílných odtokových cihelných trubek. V každém poli jsou 2 trubky vyústěny do bočního líce mostu, jsou viditelné, ale ve špatném stavu. Vzhledem k jejich stavu může docházet k lokální akumulaci vody v mostním tělese. Jednou z možných příčin vybočení zdiva poprsní zídky mohlo být nasycení celého zásypu vodou z důvodu nefunkční či porušené hydroizolace a tím zvýšení aktivního tlaku na rub poprsní zídky, zvětšení napětí na lící straně, které zdivo již nebylo schopné přenést.

- **Voda hnaná větrem:** Velmi exponovanou částí mostu jsou lící plochy - poprsní zídky, římsy a zdivo zábradlí. Větrém hnaný déšť na návětrné straně proniká do zdiva. V těchto místech dochází k synergii negativních jevů, které vyvolávají značnou degradaci zdiva v důsledku zvětvávání, což se projevuje vymýváním pojiva a odlupováním povrchových vrstev cihel v celé ploše mostu.

- **Pronikání vody z přilehlého terénu:** Z hlediska vlhkosti jsou nejvíce zatíženy základové zdivo a pilíře, které jsou v současné době zasypány zeminou. Vlhkost proniká do konstrukce přímým kontaktem se zeminou. V místě provedené sondy byla zjištěna vysoká vlhkost. Navíc zde dochází k přímému zaplavování sondy.

### 5.3.4 SHRNUTÍ PŘÍČIN PORUCH

Na základě STP byly stanoveny následující příčiny poruch:

- Pronikání vlhkosti do konstrukce
- Klimatické zatížení: nahodilá zatížení vyvolaná klimatickými jevy (účinky větru, sněhu a teploty)
- Zřícení poprsních zídek
- Biodegradace - absencí údržby mostu došlo k zakořenění stromů
- Vandalismus - rozebírání a krádež cihel

### 5.3.5 NÁVRH REKONSTRUKCE DLE PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE

Vlastní návrh rekonstrukce je pro účely tohoto dokumentu omezen na následující stručný postup (z r. 2016) [10,28,31]:



### **1. fáze – odkop okolí mostu na úroveň 184,50 m.n.m.**

Náletovou zeleň do vzdálenosti cca 5 m po každé straně mostu je třeba odstranit. Následně budou ručně sesbírány popř. vykopány všechny historické cihly podél mostu, očištěny a uskladněny do předem připravené haly, která bude součástí zařízení staveniště. V rámci této 1. fáze bude třeba přistoupit k čištění zdiva od mechového porostu a dalších biodegradačních činitelů.

### **2.fáze – provizorní přeložka potoka**

Aby bylo možné provádět opravy a sanace pilířů 7 a 8 u stávajícího koryta potoka, bude nutné koryto Rybnického potoka dočasně přeložit mezi pilíře 6 a 5.

### **3. fáze – sanace dvou pilířů u původního koryta potoka**

Po odklonění potoka bude přikročeno k opravě a sanaci uvedených pilířů č. 7 a 8. Zemina v jejich okolí bude ručně odkopávána při postupném podpírání klenby a odvážena na dočasnou deponii. V hlubších vrstvách, před dosažením požadované úrovně 183,00 m n.m., bude nutné odčerpávat prosakující podzemní vodu.

Odhalené kamenné a cihelné zdivo se nejprve očistí tlakovou vodou s použitím malého tlaku do 130 Barů. Následně se doplní cihly v rozsahu poškození a přikročí se k opravám. Pro vlastní sanaci je navržen zpevňující, mírně hydrofobní, dvousložkový organokřemičitý prostředek.

Porušené a nesoudržné cihly se musí opatrně odstranit a nahradit novými replikami provedenými minimálně ve shodné kvalitě s původními, tj. kvalita „zvonivky“. Tyto cihly se osadí do vybouraných a očištěných otvorů a staticky se zapojí (aktivují) v místě styku s původním zdivem vhodnou speciální rozpínavou maltovou směsí. Jedná se o cementovou výplňovou zdící maltu pro utěšňování zatěžovaných spár. Musí být mrazuvzdorná a odolná proti povětrnostním vlivům.

### **4. fáze – postupná sanace ostatních pilířů mostu**

### **5. fáze – oprava výplní nad klenbami a vyzdění parapetních zídek, odtokové trubky**

Při rozebírání zdiva je nutná snaha o zachování, resp. neporušení původního zásypu zejména v oblasti pod úrovní odtokových trubek, tedy pod jílovou izolací. Historický zásyp nad touto úrovní je třeba vyčistit od kořenů a znečišťující zeminy a uchovat pro opětovné použití, tj. pro doplnění dolní části násypu.

Z původních, očištěných cihel bude vyzděno veškeré zdivo pod úrovní lezén a lezény pak dozděny původními cihlami se zaobleným rohem, které zde byly použity. Vlastní parapetní zdivo, které dle požadavku platné normy pro zábradlí, musí mít výšku min. 1,10 m, bude vyzděno v tloušťce 310 mm (délka historické cihly).

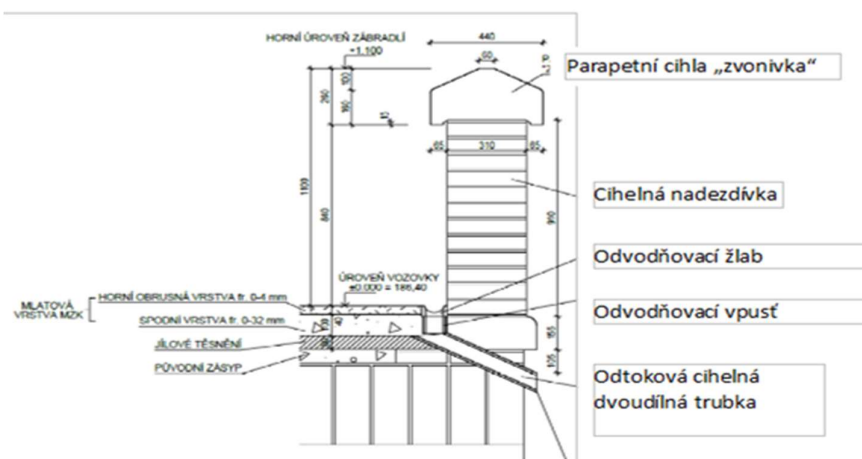
Pro požadovanou výšku zábradlí je potřeba vyzdít 12 řad cihel. Protože původních cihel nebude dostatek, bude z nich po dohodě s NPÚ vyzděn pruh o třech řadách. Následovat by mělo šest řad replik a dále další tři řady původních cihel. Na ně pak bude vyzděna ukončující řada nově



vyrobených cihelných tvarovek lichoběžníkového tvaru. **Repliky ručně pálených cihel** budou vyrobeny v blízké cihelně. Pro veškeré zdění bude použita staveništní vápenná malta.

Řazení a kombinace vrstev cihel bude přizpůsobeno skutečnému množství dochovaných původních, historických cihel. Při spárování vápennou maltou je třeba dbát, aby hloubka spáry od líce nebyla menší než 10 mm.

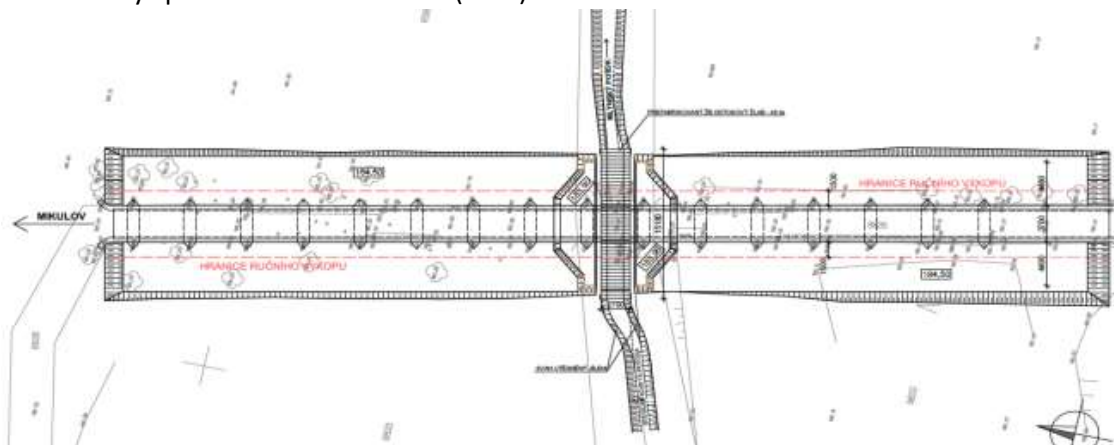
Na původní místa a ve stejném sklonu budou při zdění v místech těsně nad jílovou izolací osazeny repliky odtokových dvoudílných trubek. Ty budou vyrobeny přesně podle dochovaných zbytků původních trubek v potřebné délce cca 0,45 m. Přesná délka bude stanovena na místě tak, aby přesah přes líc parapetního zdiva byl nejméně 40 mm. Trubky budou před osazením zevnitř ještě hydrofobizovány.



Obr. 60: Detail řešení zábradlí

## 6. fáze – doplnění původních zásypů a provedení mlatového povrchu vozovky

Vlastní mostovka nad horním zásypem bude provedena jako mlatová – technologie mechanicky zpevněného kameniva – (MZK).



Obr. 61: Celková situace mostu



### Analýza izolačního systému mostu

U tohoto mostu nebylo žádoucí použití moderních technologií uvedených v následující kapitole. Celkový přístup k rekonstrukci byl konzervativní s využitím stavebních materiálů a technologií tradičního stavitelství. Mostovka je mlatová na hlinitokamenitém zásypu s jílovou izolací v úrovni dvoudílných odtokových cihelných trubek.

V minulosti byly jílové izolace zcela běžné. Nejznámější jsou pravděpodobně jílové malty a jílové omazy. Používal se jíl jemný, stejnorodý a dobře vazný. Snadno tvarovatelné se jíly stávají ve vodní suspenzi s obsahem vody cca 20 % hm. Po vysušení si vzniklé jílové těleso zachová svůj tvar a zároveň získá, mimo mechanickou pevnost, i odolnost proti působení okolního prostředí zejména proti vodě a vlhkosti. Jejich hlavní výhodou je, že neutěšňují zdivo stoprocentně a zajišťují tak přiměřený vlhkostní stav. Vhodnost jejich použití je omezená právě touto vlastností a zejména nutnými stavebními úpravami, které aplikaci jílu provázejí. V tomto případě se jedná zejména o obnovu drenáží, které jsou patrné z vizualizací. Na mostě byly nalezeny zbytky jílové izolace, nicméně byly na mnoha místech popraskané. Vrstva jílu je velmi citlivá na lokální vysychání a přísun vlhkosti, čímž postupně dochází ke ztrátě jejich funkčních vlastností. Jílové izolace (resp. bentonitové) se v dnešní době používají pro obnovu historických staveb. Jedná se o účinné řešení podporované památkovou péčí. [17,28,32,43,47]



Obr. 62: Vizualizace mostu po rekonstrukci



Obr. 63: Vizualizace - detailní pohled na řešení sanace mostu

### 5.3.6 REALIZACE REKONSTRUKCE MOSTU

#### 5.3.6.1 Průzkumné práce

Od jara r. 2019 probíhala rekonstrukce mostu. Před započítím prací bylo provedeno postupné odkrytí mostu a snížení terénu pro zjištění stávajícího stavu mostních kleneb. Po snížení okolního terénu se jako problematický ukázal zhoršený stav pilířů v jejich spodní části a zvýšená hladina spodní vody. Některé klenby bylo nutné staticky zajistit. V jednom klenebním poli byla navíc zjištěna podélná trhlinka

Během probíhající rekonstrukce došlo k novému nečekanému nálezu. Na mostovce byla pomocí archeologických sond zjištěna v celé ploše dochovaná intaktní dlažba mostu, provedená z vápencových bloků. Byly učiněny nezbytné kroky pro jejich uchování. Dlažba je dochována na cca 90 % povrchu a během prací na obnově mostu byla pečlivě zakryta. Nález původní dlažby mostu vyvolal změnu skladby mostovky oproti projektové dokumentaci a s tím související změnu v odvodnění mostovky.

#### 5.3.6.2 Provedené práce [29,61,62,63,64]

##### Odkopávky, snížení terénu:

Za účelem zjištění stavu konstrukcí pod terénem a tím i případné změny objemového řešení sanace byly provedeny odkopávky terénu. Na základě sond bylo rozhodnuto o odkopání terénu pouze na úroveň pemrlovaného vápence, nikoliv na úroveň kamenné základové rovnaniny, aby nedošlo k možným pohybům těchto kamenných základů.



### Zdění:

Při rekonstrukci mostu bylo provedeno několik zásadních kroků - jedná se zejména o provádění ručních demontáží stávajících mostních cihel s jejich současným očišťováním. Před vlastním dozděním byla provedena experimentální analýza vzorků cihel odebraných z mostu a cihel nalezených v jeho okolí, které by měly být znovu použity pro zdění. Tyto cihly byly porovnány s cihlami vyráběnými v blízké cihelně. Laboratorní analýzou bylo zjištěno, že nově vyráběné cihly nejsou vhodné k použití vzhledem k horší odolnosti proti zmrazovacím cyklům a bylo nutné najít adekvátní náhradu v podobě jiného dodavatele.

Nalezené původní cihly byly použity pro doplnění spodních líců kleneb. Vyklánějící se opěrné zídky na začátku a konci mostu byly rozebrány až na kamenný základ a vyrovnány. Tato situace se opakovala i na dalších místech - bylo nutné provést ruční demontáž stávajících cihel včetně jejich očištění a dozdivky dílčích částí narušených cihel mostu.



Obr. 64: Stav během rekonstrukce, léto 2019 (odkrytí mostu)

### Zábradlí a zídka:

V tomto bodě nastala podstatná změna oproti původnímu záměru dle projektové dokumentace zejména z důvodu nově zjištěných skutečností. Zábradlí bylo do výšky cca 800 mm od kordonové římsy ukončeno cihlami na kant spojenými na vazbu, vyspádovanými vně mostu ve sklonu 2 %. Zábradlí bylo provedeno do výšky 1,1 m od nášlapné plochy, kterou bude tvořit vyrovnaný mlat. Nad touto úrovní bylo osazeno ocelové zábradlí z tyčoviny.

### Odvodnění mostu:

Odvodnění bylo provedeno pomocí pálených prejzových tašek provedených před líc zdiva mostu do úrovně atiky, resp. klenáku.

### Mostovka:

Pro konečnou povrchovou úpravu mostovky byl zvolen mlatový materiál z Olbramovic s hrubší frakcí. Pod vrchní vrstvou bude původní krycí mlat, stmelená rovnanina, původní vyrovnávací násyp. Nalezená dlažba byla ochráněna.



Obr. 65 - 67: Průběh rekonstrukce mostu (podepření kleneb, zajištění cihel)

Při provádění stavebních prací došlo k trvalému zaplavování stavební jámy a bylo nutné nepřetržité čerpání vody ze snížené úrovně terénu. V zimních měsících (počátek r. 2020), po zastavení prací a zároveň i čerpání vody byla úroveň vodní hladiny v podstatě na úrovni vody v korytě potoka, jehož trasa byla odkloněna, resp. zatrubněna v náhradní trase. Po ukončení opravy mostu byla trasa potoka navržena do jeho původní polohy.

Původní návrh vycházel z výsledků inženýrsko - geologického průzkumu, jehož součástí bylo provedení kopaných sond u pilířů mostu. Podzemní voda byla mimo koryto potoka zastižena až cca 3,5 m pod stávající úroveň komunikace na mostovce. Stávající terén byl v té době v různé úrovni, od cca 2,5 do 1 m pod horní úroveň mostovky, to znamená, že místy byla historická konstrukce mostu téměř zasypaná. Bylo proto navrženo odkopání zeminy v šířce 10 m od líce mostu na obě strany na úroveň 183,90 m.n.m., přičemž úroveň upravené komunikace na mostě zůstane téměř na úrovni původní 186,40 m.n.m.

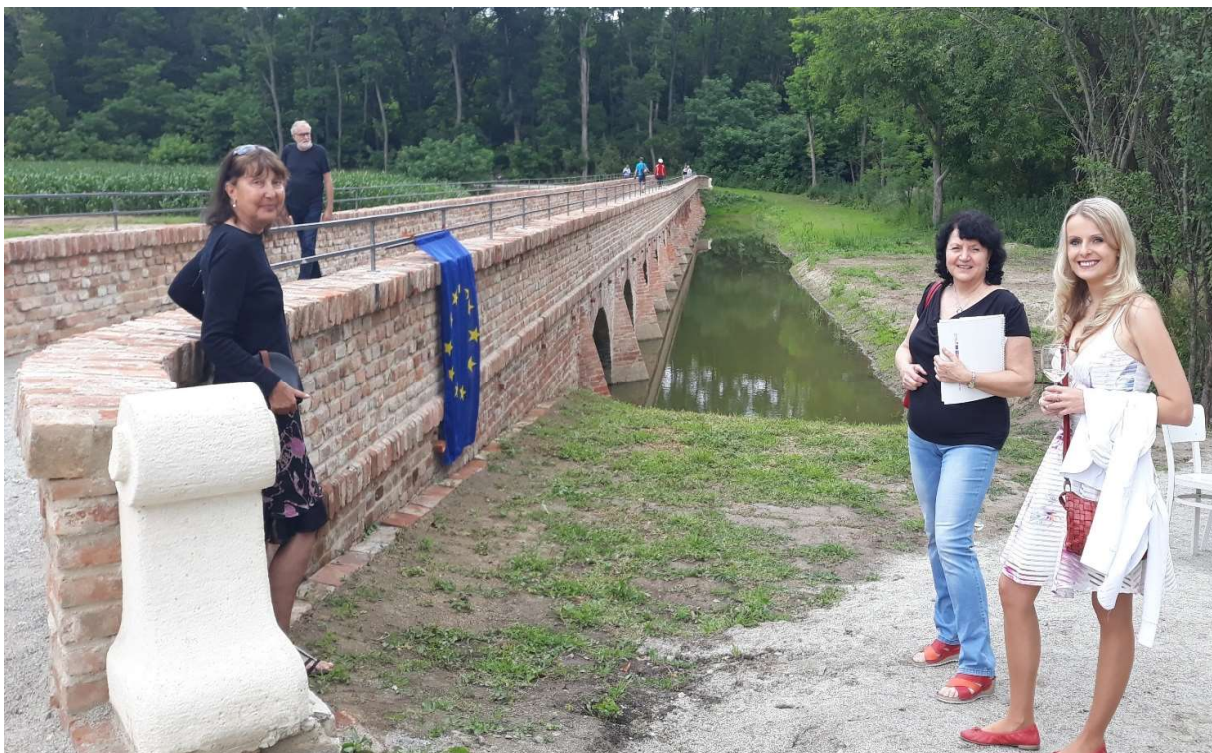




Obr. 68 - 72: Zaplavování stavební jámy v okolí mostu v průběhu stavebních prací, ukázka stávajícího odvodnění a stavu mostovky s nalezenou dlažbou, (stav březen - duben 2020)

Vzhledem ke vzniklé situaci je navržena změna v konečné podobě okolí mostu. Pod historickým cihelným mostem byly břehy původního koryta odstraněny a zachována je pouze kyneta 0,10 až 0,15 m, tj. původní výška úrovně koryta. Touto úpravou je pod mostem vytvořena přirozená drobná vodní plocha o výměře cca 1000 m<sup>2</sup> a původně navržené vyvýšené koryto se již neprovádělo. Dno uvedené vodní plochy je kamenité, resp. ho tvoří vrstva šterku s příměsí hlíny, takže nedochází při vysychání k vytváření nevhodných bahnitých ploch.

Most byl po rozsáhlé rekonstrukci okolního území (včetně navazujících polních cest) slavnostně otevřen v červenci 2020.







Obr. 73 - 74: Nový stav mostu v lokalitě Portz Insel - slavnostní otevření (13.7. 2020)

### 5.3.7 ZHODNOCENÍ REKONSTRUKCE A JEJICH RIZIKOVÝCH FAKTORŮ

Jedná o velmi zajímavou rekonstrukci barokního mostu se snahou o záchranu historické památky a především o zachování autenticity konstrukce. Rizika rekonstrukce byla pro tento most samostatně ekonomicky zpracována. **Případová studie přináší důležité informace, týkající se způsobu výstavby a materiálového řešení barokního mostu, výsledky provedených analýz a nakonec návrh rekonstrukce (i jeho změn v průběhu realizace). Je uveden historický způsob odvodnění mostovky včetně jejího materiálového složení, což je v kontrastu ve vztahu k případovým studiím mostů uvedených v následující kapitole. Součástí návrhu rekonstrukce je speciální výroba historických prvků.**



## **5.4 REKONSTRUKCE OBJEKTU Č.P. 73 (CÍSAŘSKÝ ŠPITÁL SV.ANTONÍNA) V KANOVNICKÉ ULICI NA PRAŽSKÉM HRADĚ**

### **5.4.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBJEKTU**

Jedná se o rekonstrukci objektu č.p. 73 v Kanovnické ulici v Praze na Pražském hradě od Kiliána Dientzehofera, který byl původně užíván jako císařský špitál, později adaptován na byty Hradu. Trojkřídlý objekt bývalého špitálu sv. Antonína se rozkládá na protáhlé parcele nepravidelného půdorysu napravo od kostela sv. Jana Nepomuckého. Křídla objektu spolu s boční fasádou kostela vymezují dvůr, který je na východní straně uzavřený ohradní zdí s portálem a s postranním vchodem. Druhý dvůr je za západním křídlem. Součástí areálu je kaple sv. Antonína, která mírně vystupuje před severní křídlo. Fasáda po stranách kaple je jednopatrová tříosá, s vikýřem nad střední osou. Uliční fasáda je šestiosá, členěna vysokým soklem, kordonovou římsou a hojně profilovanou římsou korunní. Obdélná okna jsou lemována plochou šambránou s uchy. Střechy objektu jsou sedlové, pouze na východním křídle zvalbené a prolomené vikýři a nad kaplí v severním křídle je střecha zvýšená a zvalbená. Krov je klasické sedlové konstrukce s plnými vazbami, hambalky a středními vaznicemi. Krov je původní masivní a historicky cenný. Při vstupu do areálu je u kostelní zdi studna, chráněná polygonální stavbičkou s osmibokou stříškou. Svislé nosné konstrukce proměnlivé tloušťky byly provedeny ze smíšeného zdiva cihla - opuka. Objekt je podsklepen v každém křídle. [68,134]

V současné době spadá objekt pod SPH (Správa Pražského hradu), jejichž záměrem je upravit všechny části pro obytné účely zaměstnanců Hradu.





Obr. 75 - 78: Císařský špitál sv. Antonína a sv. Alžběty, Obr. 76: Pohled na objekt z ulice Kanovnická, hlavní brána (vstupní část), Obr. 78: Císařský špitál sv. Antonína a sv. Alžběty - kaple

#### 5.4.2 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM - PROVEDENÉ PRŮZKUMY [18,64]

##### 5.4.2.1 Vizualní hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy a zjištěné degradace

Cílem průzkumu bylo objektivní zhodnocení technického stavu objektu - především zdiva a dřevěných konstrukcí a stanovení příčin degradace. Závěry průzkumů byly přímým podkladem pro návrh sanace a zhodnocení možnosti aplikace elastomerní polyurey. Na základě provedených prohlídek lze celkový stav objektu hodnotit jako dobrý. Nalezené poruchy jsou rozděleny do následujících bodů:

##### Svislé konstrukce - degradace zdiva:

- a) Vzlínající vlhkost a vlhkost z přiléhajícího terénu (1.PP a 1.NP), vlhkost od zatékání se projevuje lokálně i u říms pod střešní konstrukcí.

U několika bytů nastal problém s neodborným zásahem jejich uživatelů do stavby. Jedná se zejména o snahu provést zateplení z vnitřní části objektu v oblasti oken, kde patrně docházelo ke značným tepelným ztrátám a vyvolání pocitu diskomfortu uživatelů. Tyto zásahy způsobily difúzní uzavření historického zdiva. Po odkrytí vrstvy polystyrenu byly nalezeny poruchy způsobené zvýšenou vlhkostí v kombinaci s biodegradací (výskyt plísní). [32,33,70,71]

- b) Nefunkční systém vzduchových kanálků provedený v minulém století: jedná se o šikmé kanálky, vytvářené pomocí vrtů, do kterých byly osazeny keramické tvarovky. Jejich osová vzdálenost je cca 800 - 1000 mm. Kanálky zasahují přibližně do 2/3 tloušťky zdiva. Zvenku je osazena síťovina. Účinnost vzduchových kanálků je velmi nízká, neboť v nich nedochází k proudění vzduchu. Toto řešení je velmi neestetické a významně degraduje vzhled fasády objektu. Problematika návrhu spočívá i ve snížení součinitele prostupu tepla U, možnosti vzniku kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce a hromadění solí v okolí kanálků, které způsobují výkvěty. [65,66,67]
- c) Použití vnitřně hydrofobizovaných omítek u fasády objektu [73]



Obr. 79 - 81: Neodborný zásah – provedení vnitřního zateplení u oken

### Dřevěné konstrukce

Bylo konstatováno [37,38,74,75]:

- na základě vizuální prohlídky je konstrukce krovu v relativně dobrém stavu
- u oken a vnějších dveří se projevuje opotřebení časem
- velmi zásadním problémem byl **rozsáhlý výskyt dřevomorky domácí** v suterénu budovy. Tato dřevokazná houba se zde vyskytovala na dřevěných konstrukcích sklípků jednotlivých bytů a částečně již došlo k jejímu prorůstání do zdiva. Před započítím stavebních prací bylo provedeno její odstranění odbornou firmou.
- vlivem vlhkosti došlo k totální degradaci podlah několika bytů v 1.NP.



Obr. 82 – 83: Výskyt dřevomorky domácí ve sklepě, Obr. 84: Degradace podlahy, Obr. 85: Krov

#### 5.4.2.2 Analýza vlhkosti

Zvýšená vlhlost se nejvíce vyskytuje v suterénu objektu a v části 1.NP. Dominantní dotací vlhkosti zdiva je vlhkost transportovaná z přilehlého terénu a vzlínáním. V místech kontaktu s terénem zde dochází v exteriéru k opadávání povrchových vrstev v soklové části. K opadávání povrchových vrstev omítky dochází i ve vnitřní části suterénu objektu. Vlhkostní mapy a degradace omítek jsou patrné zejména na dosud neopadaných stávajících omítkách v 1.NP.

Ačkoliv jsou vzduchové metody v oblasti památkové péče velmi doporučované a jsou ve většině případů považovány za vhodné, v případě objektu v Kanovnické ulici způsob provedení vzduchových kanálků lze hodnotit jako zcela nefunkční. V druhé polovině minulého století zde byly v



úrovni soklu doplněny tři řady vzduchových kanálků ve všech třech částech objektu, nicméně na několika místech byly provedeny ještě další téměř náhodné „mezivrtvy“. Jedná se o velmi problematickou aplikaci, neboť nehledě na architektonické znehodnocení fasády je účinnost Knapenových kanálků minimální, resp. žádná. Vzhledem k malému průměru trubek a nedořešenému přívodu a odvodu vzduchu v nich téměř nedochází k proudění vzduchu. Účinnost je obecně limitována stavebním řešením konstrukce. Na *Obr. 91 - 92* jsou zachyceny nejen chybně provedené kanálky, ale je zde také vidět nedostatečné odvodnění nádvoří objektu a exponování soklové části odstříkující vodou.

Ve vnitřní suterénní části objektu byla navíc z nepochopitelného důvodu provedena asfaltová izolace, která historické zdivo naprosto uzavírá. Dochází tak i k uzavření vlhkosti uvnitř zdiva a transportními procesy se dostává výše. Na povrchu se tato skutečnost projevuje opadáváním povrchových vrstev a jejich totálním znehodnocením. Samotná vrstva izolace je naprosto zteřelá.

V suterénu objektu byly v rámci stavebně technického průzkumu odebrány vzorky ve dvou výškových úrovních, tedy v hloubce 150 mm, výšce 0,15 m a 1 m nad úrovní podlahy v suterénu přední části objektu, kde jsou poruchy způsobené vlhkostí nejvýraznější. V obou úrovních byly odebrány tři vzorky. Hmotnostní vlhkost zdiva byla stanovena gravimetrickou metodou. [29,69,7071,72]



*Obr. 86 - 87: Zteřelá asfaltová hydroizolace, Obr. 88 – 90: Poruchy v suterénní části objektu, Obr. 91 - 92: Chybné provedení systému vzduchových kanálků*

#### Výsledky vlhkostní analýzy zdiva:

Průměrně dosažená hodnota obsahu vlhkosti na úrovni cca 0,2 m nad terénem byla 9,8 % hm (vysoká) a ve výšce cca 1,0 m nad terénem dosahovala průměrná hodnota 7,4 % hm (zvýšená). Vzhledem k viditelným výskytům vlhkostních map a další degradaci povrchových vrstev bylo zvýšené až vysoké množství vlhkosti ve zdivu očekávané.



### 5.4.2.3 Mykologický průzkum [40,74,75]

Předmětem mykologického průzkumu je podrobná prohlídka dřevěných prvků krovů všech třech částí objektu a odběr vzorků k biologickým a chemickým analýzám. V objektu byly provedeny celkem dvě vizuální prohlídky, na jejichž základě byly odebrány vzorky k posouzení. Pro biologickou analýzu byly odebrány 4 vzorky (V1- V4), pro chemickou analýzu byly odebrány další čtyři vzorky (CH1 - CH3). Popis krovů byl rozdělen dle členění objektu do 3 částí.

#### **Popis dřevěných konstrukcí a výsledky analýzy:**

##### **ČÁST I - západní křídlo:**

Krytina střechy je pálená, prejzová na obvyklém laťování jako ve všech dalších částech objektu. Je zachovalá a funkční. Na jednom místě (JZ roh, proti vstupu do půdního prostoru) bylo zjištěno zatékání v důsledku chybějících vrchních prejzů. V místě zatékání byla zjištěna vlhkost dřeva 40 %. V tomto místě byl odebrán vzorek V1.

Krov je klasické sedlové konstrukce s plnými vazbami, hambalky a středními vaznicemi. Krov je původní, masivní a historicky cenný (ruční opracování, spojování dlaby a dřevěnými svorníky - kolíky). V minulosti byl viditelně opravován, spodní části několika krokví i vazby jsou vyvločkovány. Takto byly provedené i zbylé dvě části krovu.

##### **Aktuální vlhkost dřeva:**

(byla zjištěna vlhkoměrem Testo): krokve 19 - 23%, vazba 22%, střešní latě 19%.

Celý krov byl v minulosti rovněž chemicky ošetřován, pravděpodobně protipožárními nástřiky na bázi amonných solí (pyronit). Poslední ošetření bylo provedeno nekvalifikovaně (na nedostatečně očištěné dřevo s „rozvlákněným“ povrchem). Chemická koroze není viditelná. K chemické analýze byl odebrán vzorek CH1.

##### **ČÁST II- střed**

V místě chybějící krytiny, kde dochází k zatékání byla zjištěna vlhkost 65-70 %. Zde byl odebrán vzorek V2.

##### **Aktuální vlhkost dřeva:**

krokve 18 %, vazba 17 %, střešní latě 18 %.

Celý krov byl v minulosti rovněž chemicky ošetřován. Jedná se o stejnou situaci jako v první části objektu. Zde byl odebrán vzorek CH2.



### ČÁST III- východní křídlo

Krytina i krov byly provedeny stejným způsobem jako je popsáno výše. Krov byl ošetřován identicky.

#### Aktuální vlhkost dřeva:

krokve 20 %, vazba 19 %, střešní latě 22 %.

#### Biologická analýza:

V laboratoři byly makroskopicky a mikroskopicky analyzovány odebrané vzorky V1 - V3. Identifikovanými houbami v místě napadení V1 a V2 jsou pornatka zprohýbaná (*Poria sinusoua*) a popraška sklepní (*Coniophora outeana*). Jedná se o nebezpečné dřevokazné houby, které však pro svůj rozvoj potřebují vysokou dotaci vlhkosti a její stálý přísun, jinak pouze přežívají v latentním stádiu.

Ve sklepu číslo 3 byl zdokumentován masivní výskyt dřevomorky domácí (velké plodnice a rozsáhlé mycelium). V průběhu zpracování případové studie (srpen 2018) byla houba odborně odstraněna.

#### Chemická analýza:

Laboratoř provedla kvalitativní důkazy přítomnosti složek obvyklých ochranných prostředků, používaných v minulosti k ochraně dřeva. Jedná se o látky typu Pyronit a Boronit, které byly v minulosti často používány v objektech Pražského hradu. Metodika analýzy byla provedena dle ČSN 49 0609.

### 5.4.3 STRUČNÝ NÁVRH REKONSTRUKCE

Na objektu bude provedena poměrně rozsáhlá rekonstrukce. Jedná se především o úpravu vnitřních prostor související se změnou užívání v některých částech. Hlavní body návrhu rekonstrukce jsou shrnuty níže [76,79,80,83,85]:

#### Sanace dřevěných konstrukcí [74,75]:

- kvalifikovaná výměna všech prvků hloubkově napadených dřevokaznou houbou. Výměny budou provedeny v délce min. 0,5 m za okraj viditelného napadení. Nové prvky budou chemicky chráněny nejlépe hloubkovou impregnací.
- úplné očištění a vyklizení prostor
- zjištění kyselosti povrchu dřeva (hodnoty pH) po očištění a podle jeho hodnoty bude zvolen neutralizační postup
- provedení konečné chemické ochrany, (např. Bochemit QB, nános 25- 40 g/m<sup>2</sup>, 2x postřik a Katrit BAQ, nános 40-60 g/m<sup>2</sup>, 2x postřik, Lignofix E-Profi, nános 25- 40 g/m<sup>2</sup>, 2x postřik)



### Sanace vlhkosti:

Převážná část rekonstrukce bude spočívat v sanaci soklových částí, které jsou exponované odstříkující vodou, a především v provedení hydroizolace proti zemní vlhkosti. Vzhledem k tomu, že se jedná o historický, památkově chráněný objekt, byla zvolena vzduchová metoda. Navrženo je provedení celoplošné vzduchové dutiny mezi zeminou a podlahou pomocí systému kopulovitých tvarovek (typ IGLÚ), na které se pak provede vrstva vyztužená betonové mazaniny. Ta bude sloužit jako podklad pro podlahové souvrství. [76,77,78,80]

Celoplošná dutina jednoduchým způsobem dokonale oddělí konstrukci stavby od vlhkého podloží a případného působení radonu. Podmínkou správného fungování takto vytvořené izolace je umožnění odvětrání vzniklé dutiny systémem větracích komínků na protilehlých stranách řešeného prostoru. Orientace těchto komínků by měla být optimálně sever - jih, resp. teplejší a studenější strana budovy, pro vytvoření intenzivnějšího proudění vzduchu. Výškový rozdíl vyústění komínků by pak měl být alespoň min. 1,5 m, raději však více, přičemž výška nad terénem je doporučena min. 0,30 m. Celé souvrství se při provádění od stávajícího zdiva oddělí pásem nopolové fólie do výšky cca 50 mm nad podlahu, která se následně zakryje podlahovou lištou s větracími otvory. Zároveň je nutné zajistit u sanovaného prostoru průběžné větrání – rekuperace, odvětrání stávajícími průduchy osazenými nad střechou ventilačními rotačními hlavicemi (deflectory). [81,82,84,85]

V případě rekonstrukce objektu v Kanovnické ulici č.p. 73 jsou navrženy vstupní komínky (nádechové otvory) v nejnižším místě přilehlého terénu u chodníku na východní straně a výstupní otvory na západní straně směrem do dvora. Zároveň se pro výstup použije přilehlý stávající komínový průduch, který již neslouží pro odvod spalin.

Výška navržené dutiny pod podlahou je 110 mm (tvarovky v. 160 mm), odvětrávací komínky (nádechové a výdechové otvory) budou mít průměr 100 mm a ve fasádě budou ukončeny kruhovými větracími mřížkami se sítí proti hmyzu. [86,87,88,89,90]

#### 5.4.4 ZHODNOCENÍ REKONSTRUKCE A JEJICH RIZIKOVÝCH FAKTORŮ

Za hlavní přínos studie lze považovat ukázkou podrobného průzkumu historického objektu a použití kombinace tradičních i moderních technologií. Studie potvrzuje nefunkčnost Knapenových kanálků a rychlý rozmach dřevokazných hub (zejména dřevomorky domácí) při zanedbání údržby, která výrazně zvýšila vlhkostní režim objektu.





## 6 MODERNÍ TECHNOLOGIE REKONSTRUKCÍ STAVEB SE ZAMĚŘENÍM NA ANALÝZU HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU NA BÁZI ELASTOMERNÍ POLYUREY

### 6.1 ÚVOD

Současný stavební trh poskytuje rozsáhlou nabídku moderních technologií a materiálového řešení, která jsou určena pro provádění rekonstrukcí pozemních staveb i mostů. Tyto materiály je však možné považovat za řešení určitých kritických částí staveb. Otázkou však zůstává jejich použitelnost, resp. výhodnost jejich použití pro rekonstrukci historických staveb za současného respektování požadavků památkové péče.

V následující části práce budou analyzovány hydroizolační materiály na bázi elastomerní polyurey, které jsou na našem trhu poměrně nové, nicméně mají po celém světě zastoupení.

Pro účely disertační práce byly vybrány materiály využitelné pro rekonstrukci staveb, tedy hydroizolační materiály a materiály pro zesilování konstrukcí. Výrobce elastomerní polyurey deklaruje možnost použití na jakýkoliv povrch s garancí požadovaných vlastností. Dosud však nebyla analyzována možnost jejich využití pro historické stavby. Cílem výzkumu tedy není prosazení těchto materiálů na poli historických staveb, pro které současný český trh nabízí řadu jiných vysoce kvalitních materiálů, snahou je ověřit jejich vlastnosti v případě aplikace u historických staveb s otázkou možnosti rozšíření jejich oblasti využití. [28,29,31]

Materiály byly analyzovány laboratorně a jejich výsledky byly ověřeny in-situ na vybraných stavbách. Výsledky byly vzájemně porovnány se zhodnocením rizikových faktorů.

#### 6.1.1 SOUČASNÉ METODY SANACE VLHKÉHO ZDIVA

Metody sanace vlhkého zdiva lze v zásadě rozdělit do několika následujících skupin. Pro omezený rozsah disertační práce je uvedeno pouze zásadní dělení dle [2,7,8,20,35].

Základní metody:

Mechanické - probourávání zdiva, podřezávání zdiva, zarážení izolačních plechů do zdiva

Chemické - beztlakové, tlakové, infuzní, rubové, zvláštní

Elektrofyzikální metody - elektroosmotické, elektrochemické

Doplňkové metody:

Vzduchové izolační systémy

Sanační omítkové systémy

Izolace vodonepropustným stavivem



- Úpravy v okolí terénu
- Drenážní systémy
- Mikrovlnné vysoušení

### 6.1.2 MODERNÍ TECHNOLOGIE OCHRANY STAVEB PROTI VLHKOSTI:

Výběr ochrany staveb proti vlhkosti se v dnešní době obvykle provádí z dostupných systémů - bezpovlakových a povlakových vyhodnocením vstupních údajů na základě STP. Za povlakové systémy se považují takové, které vytváří souvislou a celistvou vrstvu. Do kategorie povlakových systému lze zařadit: asfaltové pásy, plastové fólie, nátěrové/ stěrkové a stříkané izolace, bentonitové izolace apod.

Mezi bezpovlakové systémy patří: vzduchové dutiny, vodostavebné betony a krystalizační prostředky. [42,44,92,94,95]

#### 6.1.2.1 Bezpovlakové systémy:

Jako zásadní hydroizolační bezpovlakový systém lze uvést vzduchové dutiny, které se po určitých modifikacích původních návrhů s oblibou dále používají. Systém funguje na obdobném principu, který byl uveden v kapitole o tradičních metodách ochrany staveb. Je však třeba uvést, že novodobé systémy využívají zejména různé profilované fólie nebo materiály, které slouží jako ztracené bednění či různé tvarovky z materiálů typu HDPE (iglu) nebo zvýšení pohybu vzduchu ve vzduchových šachtách pomocí Sunvent.

#### Vodostavebné betony (bílé vany):

Vodotěsnost betonu je dosažena samotnou konstrukcí bez použití povlakových konstrukcí. Závisí na celé řadě faktorů, jako složení betonové směsi, způsob jejího kladení, obsah pojiva, množství záměsové vody, druh a poloha výztuže, způsob ošetřování betonu apod. V konečném výsledku o vodotěsnosti rozhodují následující faktory:

- porozita cementového tmelu
- množství a šířka trhlin (od zatížení, smršťování, objemových změn při změnách teploty/ vlhkosti)
- porozita použitého kameniva
- soudržnost mezi cementovým tmelem a kamenivem

Největší vliv na vodotěsnost mají porozita cementového tmelu, množství a šířka trhlin. Z Navier-Stokesovy rovnice plyne, že objemový průtok kapaliny roste se třetí mocninou šířky trhliny. Vodotěsnost betonu lze zvýšit např. pomocí těsnících přísad - hydrofobizačních a přísad utěsňujících pórový systém. Dále je nutné řešit těsnění spár (pracovních, dilatačních) a prostupů.



### **Krystalizační prostředky:**

Jedná se o kompozity směsi portlandského cementu, velmi jemného křemičitého písku a chemických přísad. Po smíchání s vodou vzniká kašovitá hmota, která se nanáší na povrch betonových konstrukcí ve formě nátěru nebo nástřiku. Po styku s vlhkým betonem aktivní chemické látky migrují do pórového a kapilárního systému betonu, kde dochází ke katalytické reakci všech zúčastněných složek, jejímž produktem je tvorba nerozpustných vláknitých systémů. Ty vznikají právě v pórech a kapilárách, čímž dochází k utěšňování betonu ve všech směrech. Krystalizační prostředek je součástí navrženého hydroizolačního systému, o kterém bude pojednáno v dalších kapitolách. Tento systém je navržen pro rekonstrukci Masarykova mostu v Kolíně, jehož případová studie je součástí práce.

### **6.1.2.2. Povlakové systémy**

#### **Asfaltové pásy:**

Patří k vývojově nejstarším izolačním hmotám. Z hlediska ochrany proti tlakové vodě a radonu je pozitivní skutečnost, že asfaltové pásy lze plnoplošně natavovat k podkladu. Vlastnosti asfaltových pásů jsou ovlivněny druhem a materiálem nosné vložky typu asfaltové krycí hmoty. Do výrobního procesu asfaltových pásů vstupují následující suroviny: asfalt (rafinovaný, oxidovaný), modifikátor (SBS, ALPA, APP), výztužné vložky (polyesterové netkané textilie, skleněné výztužné vložky, kombinované výztužné vložky), plnivo (dolomitický vápenec, minerální pojiva), retardéry (hoření, prorůstání kořínků), posypy (hrubozrnný hydrofobizovaný keramický, břidličný posyp, obecně minerální posyp), separační fólie (PE, PP a další), identifikační prvky (identifikační páska, štítky), balení (palety, tubinky, balicí papír, smršťovací folie, stahovací plastové pásky). [91,92,93]

#### **Plastové fólie:**

Mezi foliové izolační materiály patří termoplasty a elastomery. Z nejčastěji se vyskytujících materiálů patří do první skupiny (plastické chování) izolace z polyvinylchloridu, polyetylenu, polypropylenu a modifikovaných polyolefinů a do druhé skupiny (elastické chování) patří představitelé chloroprenových etylenpropylenových kaučuků. Mezi vstupní suroviny se řadí následující: PVC, modifikátor (změkčovadla), výztužné vložky (polyesterové netkané textilie, skleněné výztužné vložky, kombinované výztužné vložky), plnivo (dolomitický vápenec), retardéry (hoření, prorůstání kořínků), vnější povrchová úprava, separační textilie, identifikační prvky, balení (palety, tubinky, balicí papír, smršťovací folie, stahovací plastové pásky). [92,94,95]

#### **Nátěrové, stěrkové a stříkané izolace:**

Do této kategorie patří především různé asfaltové stěrky, akrylátové stěrky. Mezi stříkané izolace patří i hydroizolační materiál na bázi elastomerní polyurey, jehož analýze jsou věnovány následující kapitoly.



## 6.2 OBECNÉ VLASTNOSTI HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU (ELASTOMERNÍ POLYUREA)

Analyzovaný hydroizolační materiál lze zařadit mezi polyurey (polymery), přesněji se jedná o elastomerní polyurey, které patří do rozsáhlé skupiny polyesterů a polyamidů. Materiál lze připravit z různých vícefunkčních izokyanátů a látek obsahujících hydroxilové skupiny pryskyřice. Tento produkt je označován jako dvoukomponentní s vynikajícími hydroizolačními vlastnostmi, díky kterým tvoří spolehlivou vodotěsnou membránu. Mezi další velké výhody patří výborná přídržnost k podkladům, chemická odolnost proti běžným látkám, vyskytujícím se v exteriéru. Zmíněna je mechanická odolnost, flexibilita a především rychlá aplikace nástřikem.

Polymerní hmoty jsou v dnešní době rychle se rozvíjejícím oborem chemického průmyslu. Jejich vynález se považuje za důležitý posun v materiálovém inženýrství a lze předpokládat, že tento obor bude dále udávat směr materiálového inženýrství pro řešení problematických částí staveb a pro další specializované obory. **Polymery** jsou chemické látky, obsahující ve svých charakteristicky dlouhých řetězcových strukturách molekul většinou atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, někdy také jiných prvků jako jsou dusík, chlór, síra, křemík, fosfor, fluor aj. Jedná se o přírodní nebo syntetické látky, v jejichž makromolekule se jako článek v řetězu mnohonásobně opakuje základní monomerní jednotka. Představují jakousi chemickou stavebnici, která umožňuje neobyčejnou proměnlivost struktur i vlastností výsledných látek. Kromě látek polymerní povahy mohou obsahovat ještě další přísady (aditiva), jejichž účelem je specifická úprava vlastností. Polymery vykazují díky svým zpravidla obrovským molekulám oproti ostatním běžným látkám, neobvykle širokou škálu vlastností. Polymery jsou organického původu a vznikají polymerací nebo polykondenzací. Vyrábějí se z ropy, zemního plynu, uhlíku, vzduchu, vody, kaučuku atd. Rozhodujícími faktory určujícími vlastnosti plastů jsou chemické složení a tvar molekulárních jednotek, vytvářejících lineární, rovině rozvětvené nebo prostorově rozvětvené (trojrozměrné) řetězce. Dalším důležitým faktorem je délka makromolekuly, kterou udává počet molekulárních jednotek vytvářejících řetězec. Na konečných vlastnostech se také podílejí vlastní syntéza i způsob zpracování. Mechanické vlastnosti vyplývají ze vzájemné pohyblivosti makromolekulárních řetězců. Maximální pevnosti se docílí takovým strukturním uspořádáním, které při namáhání umožní rovnoměrné rozdělení sil při (během) napínání hmoty, čemuž nejlépe vyhovuje vláknité uspořádání makromolekul. Mezi hlavní **výhody polymerů** patří malá hmotnost, malá nasákavost, nízká zvuková a tepelná vodivost, odolnost vůči chemickým látkám, korozi a vodě, snadné zpracování, tvarování, probarvení a v neposlední řadě pružnost. Nevýhodné vlastnosti jsou především vysoká teplotní roztažnost, hořlavost, nízká odolnost proti UV záření – dochází k fotooxidaci (jev, způsobený UV zářením + kyslíkem, kdy dochází ke vzniku radikálů, které podléhají oxidačním reakcím), velké dotvarování (creep) a malá teplotní stálost (vlastnosti se mění v závislosti na teplotě – modul pružnosti, pevnost atd). [28,96,97,98,99,100]

Téma obecného dělení polymerů je v různých zdrojích řešeno s drobnými odlišnostmi. Dle zdroje z VŠCHT, je uvedeno následující dělení [96]:



POLYMERY	
Kaučuky	Termoplasty
Elastomery	Plasty

Tab. 4: Obecné dělení polymerů [96]

- **Elastomery** jsou vysoce elastické polymery, které je možné za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná. Nejpočetnější podmožinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž se vyrábí pryž (guma).

- **Plasty** jsou polymery za běžných podmínek většinou tvrdé, často i křehké. Při zvýšené teplotě se stávají plastickými a tvarovatelnými. Pokud je změna z plastického do tuhého stavu vratná (opakovatelná), jedná se o termoplasty. V případě, kdy je změna stavu při zahřátí nevratná, většinou navíc provázena změnou struktury způsobenou chemickou reakcí, jedná se o reaktoplasty (termosety).

- **Termoplasty** neboli lineární makromolekuly vznikají tak, že se monomerní molekuly řadí jedna vedle druhé „jako korálky na šňůře“. Lineární makromolekuly se mohou z prostorových důvodů více přiblížit jedna ke druhé a vyplnit tak kompaktnější prostor. Polymery potom mají vyšší hustotu (např. vysokohustotní polyetylen HDPE). Lineární makromolekuly také snáze vytvářejí prostorově pravidelné shluky krystalických struktur, takže tyto polymery mají vyšší obsah krystalických podílů. Plasty s lineárními makromolekulami jsou obvykle dobře rozpustné a tavitelné (dobrá pohyblivost makromolekul), v tuhém stavu se vyznačují houževnatostí a ve formě tavenin dobrou zpracovatelností.

Analýzovaný materiál lze připravit z různých vícefunkčních izokyanátů - 55% a látek obsahujících hydroxilové skupiny - 45% pryskyřice. Patří mezi nejvýznamnější polyuretany, tedy takové, které jsou vyráběné polyadicí hexamethyldiizokyanátu  $O=C=N-(CH_2)_6-N=C=O$  a 1,4 butylenglykolu  $HO-(CH_2)_4-OH$ . Jsou také technicky nejsnáze přístupné. Vyrábějí se ze směsi složek, kdy se dá snadno odvádět teplo uvolňované při exotermické reakci. Polymerní směs je systém obsahující polymer a přísady. Některé z nich dodávají výrobku požadované užité vlastnosti, které samotný polymer nemá (např. aktivní plniva, antidegradanty, síťovací činidla), jiné usnadňují jeho zpracování (např. plastifikační činidla, maziva), další jen zlepšují jeho vzhled (např. pigmenty). Požadavky kladené na výrobky z polymerů jsou různorodé a vždy odpovídají konkrétnímu účelu použití.

#### Degradace a biodegradace polymerů jako stavebních materiálů:

Téma degradace polymerů je díky zvýšené výrobě syntetických hmot v dnešní době velmi aktuální a diskutované. Zásadní je uvědomit si, že polymery mají odlišné vlastnosti a odolnosti oproti jiným materiálům na bázi křemíku, s kterými jsou často v kontaktu ve skladbě konstrukce. Velmi



důležité je také uvažovat nad zásadním ovlivněním vlastností plastů umístěných v exteriéru - povětrnostními vlivy, UV zářením a teplotou.

Nejzásadnějším faktorem ovlivňujícím degradaci polymerů je teplota. Ta významně ovlivňuje mechanické vlastnosti jako je pevnost a pružnost. Dalšími velmi důležitými faktory jsou UV záření, kyslík, voda, a také chemické látky. Ať už se jedná o plynné polutanty, kyselé oxidy, zásady, organická rozpouštědla, roztoky solí, ozon atd., které mohou mít pro polymery zásadní degradační význam. V neposlední řadě jsou polymerní hmoty ovlivněny mechanickým namáháním, především pokud je dlouhodobějšího rázu či pokud má vysokou intenzitu. Pro plasty mohou být také z hlediska degradací nebezpečné cyklické zmrazování a mikrobiologické degradace. V praxi na polymerní materiály nikdy nepůsobí tyto faktory izolovaně, ale vždy jejich synergie podle daných podmínek. Některé z těchto faktorů mohou polymer poškozovat jak chemicky, tak fyzikálně či současně fyzikálně-chemicky. V praxi se nejčastěji jedná o kombinaci kyslík + UV záření, která vyvolává fotooxidaci, kdy vznikající radikály podléhají oxidačním reakcím. Dalším velmi častým a ještě problematičtější příkladem je kombinace působení kyslíku, UV záření a vlhkosti, při níž se koroze materiálů výrazně urychlí, roste obsah karbonilových skupin, které urychlují fotooxidaci a dochází k difúzi vlhkosti do materiálu, čímž se zhorší mechanické a izolační vlastnosti ve vnějším prostředí použitého polymeru. Průvodní degradaci při tomto namáhání je také snížení přidržnosti.

Z důvodu působení těchto degradačních faktorů dochází ve struktuře a na povrchu plastů ke změnám, které mají vliv na celkové chování a životnost. Zásadní degradace polymerních materiálů jsou samozřejmě ztráty vlastností, kvůli kterým jsou ve stavebním díle použity. Mezi ně patří ztráta hydroizolačních vlastností, jež může být způsobena dlouhodobým či nárazovým mechanickým namáháním nebo ztrátou přidržnosti k podkladní vrstvě. Ta může být zaviněna nanášením materiálu na nezpevněný povrch, rozdílnou tepelnou roztažností podkladu a nanášeného materiálu či vlhkého podkladu. Dalším problémem může být ztráta tepelně izolačních účinků z důvodu proniknutí vlhkosti do původně vzduchových vnitřních pórů materiálu. Tento důvod je zřejmý, jelikož voda disponuje cca 10x větší tepelnou vodivostí než vzduch v pórech původně obsažený. Dalším faktorem je změna mechanických vlastností polymerů z důvodů dlouhodobě vysokých či nízkých teplot. K zásadnímu porušení ovšem může dojít i náhlým zvýšením teploty nad přípustnou mez. Při teplotním namáhání může docházet ke změně struktury materiálu, způsobené rozkladnými reakcemi a eliminacemi nízkomolekulárních látek z makromolekul. Chemickými reakcemi může dojít, jak již bylo zmíněno, k autooxidaci. Dále může také nastat štěpení makromolekul. Stárnutím polymeru dochází k nevratným snižováním kvalitativních vlastností polymeru.

Ve srovnání s jinými látkami se polymery i přes výše uvedenou problematiku považují za hmoty se značnou odolností proti korozi. Proto se staly nejhledanějšími ochrannými prostředky proti korozi kovů, dřeva, stavebních hmot a řady dalších materiálů. Důležitá je však znalost podmínek, při kterých dochází k degradaci polymerů a způsob jejich ochrany pro stanovení vhodného způsobu jejich aplikace a následného použití. [28,96,97,98,99,100]



### **Aplikace materiálu:**

Hlavní zásady aplikace spočívají ve smíchání materiálu z barelů A - izokyanátu a B - pryskyřice v hmotnostním poměru 1:1. Tyto jednotlivé základní složky jsou dodávány již přímo v poměrech směšování tak, aby nedošlo ke špatnému směšovacímu poměru. Dále se do směsi přidává granulát s pigmentem minimálně jedné barvy (zpravidla více barev), který se v ní rozpouští a ovlivňuje barevnou charakteristiku finálního produktu. Barely mají speciální nástavce pro nasazení hadic vedoucích k tlakové pumpě, která pomocí tlaku kompresoru smísí materiál těsně před aplikací a ještě nezreagovanou směs dopraví na místo určení. Jednotlivé prvky pro aplikaci finálního produktu - barely složek A a B (izokyanátu a pryskyřice) včetně příslušenství hadic a nástavců jsou na *Obr. 93 a 94* [139].



*Obr. 93: Vysokotlaké aplikační zařízení*



*Obr. 94: Ukázka aplikace materiálu*

Jelikož je jednou z hlavních složek materiálu izokyanát, je třeba dodržovat zásady bezpečnosti a zdraví při práci. Zdravotní rizika izokyanátu spočívají v jeho reaktivnosti. Vdechování nebo vystavování pokožky účinkům izokyanátu může způsobit trvalé poškození buněk nebo poškození sliznice, dýchacích orgánů a podráždění nervových center. Proto je aplikace možná pouze za použití obleků a kukly se speciálním filtrem.

### **6.3 EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU:**

Dále byla ověřena odolnost materiálu vůči plísním a bakteriím, která nebyla výrobcem testována. V této části je pouze výňatek z protokolů zkoušek. Většina těchto zkoušek byla provedena v rámci předmětu „Materiálové inženýrství“ (r. 2015 – 2016) a ve spolupráci s [102] při přípravě diplomové a disertační práce s určitou materiálovou a experimentálně analytickou modifikací - jedná se zejména o upřesnění výsledků. Děkuji za tuto spolupráci a za poskytnutí některých výsledků, na které bylo možné navázat a zároveň je zde prezentovat. V první fázi byly experimentálně ověřeny vlastnosti původního materiálu, který byl v průběhu dalších let několikrát modifikován. Důraz byl dle výrobce kladen zejména na zlepšení tahových vlastností (pevnost v tahu, schopnost protažení), což bylo ověřeno. Difúzní vlastnosti měly zůstat obdobné. Další experimenty materiálu byly provedeny



v rámci předmětů Experimentální analýza, Diagnostika konstrukcí a s laskavou pomocí v laboratořích K123 a K124 během doktorského studia (r. 2015 - 2019). Členové těchto laboratoří také poskytli detailní postupy pro zpracování experimentů. Výsledky některých experimentů byly poskytnuty v rámci dlouhodobé spolupráce s výrobcem analyzovaného materiálu a osobní návštěvy (resp. účasti při experimentech) v laboratořích v USA [28,96,97,98,99,10,101,102].

### MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ

Praktická měření základních materiálových charakteristik probíhala v několika fázích. Primárně byly měřeny základní fyzikální vlastnosti samotného hydroizolačního materiálu. Poté bylo přistoupeno k měření materiálových charakteristik prvků, které byly použity jako podkladní materiály pro nástřik elastomerní polyurey.

Pro velký rozsah experimentální části jsou tyto základní vlastnosti shrnuty pouze do tabulky. Naměřené hodnoty rozměru vzorků a jejich hmotnosti, objemu a objemové hmotnosti jsou v porovnání s očekávanými vlastnostmi, které byly deklarovány v technickém listu materiálu, jen velmi málo odlišné. Rozdíly jsou menší, než je nejistota měření, tudíž je toto měření hodnoceno kladně. Materiál vykázal poměrně homogenní vlastnosti. Hustota matrice, která nebyla v technickém listu popsána, svou hodnotou odpovídá očekávanému údaji. Objemová hmotnost je v technickém listu uvedena mezi 1104-1120 kg/m<sup>3</sup>, což bylo během měření také potvrzeno. Porozita byla očekávána o něco málo menší, nejde ovšem o nijak výrazný problém, stále se jedná o velmi nízkou hodnotu. Nasákavost, jako jedna z hlavních materiálových charakteristik hydroizolací, byla menší než 1 %. Hodnota materiálu před jeho modifikací byla 1,6 %, což je běžná vlastnost většiny materiálů, nicméně hodnota 1 % po určité modifikaci materiálového složení je velmi dobrý výsledek. Je nutné zmínit skutečnost, že analyzovaný materiál vykazuje cca o třetinu menší plošnou hmotnost než materiály podobného použití se srovnatelnými vlastnostmi, jako jsou například asfaltové pásy. Výhodou je skutečnost, že řešený materiál o tloušťce 2,5 mm je používán na stejné izolační aplikace jako asfaltové pásy o tloušťce 3,5 mm. Plošná hmotnost asfaltového pásu je závislá na typu a měrné hmotnosti plniva v asfaltové hmotě. Průměrné hodnoty plošné hmotnosti pro pásy o tloušťce 3,5 mm (příloha č. 2) jsou 4,5 kg/m<sup>2</sup>, zatímco elastomerní polyurea má při stejné tloušťce plošnou hmotnost 3,729 kg/m<sup>2</sup> (příp. při tl. 2,5 mm plošnou hmotnost 2,664 kg/m<sup>2</sup>). [102]

#### 6.3.1 STANOVENÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ DLE ČSN EN 12311-1

Stanovení tahových vlastností proběhlo v laboratoři ČVUT Fakulty stavební v rámci doktorských studijních předmětů Diagnostika konstrukcí a Experimentální analýza konstrukcí dle normy ČSN EN 12311-1 *Hydroizolační pásy a fólie - Část 1*. Vztahuje se výhradně na výrobky, nikoli na hydroizolační systémy složené z těchto výrobků a zabudované ve stavbách. Tato metoda představuje zkoušku stanovující důležitou mechanickou charakteristiku materiálu. Zkušební těleso je

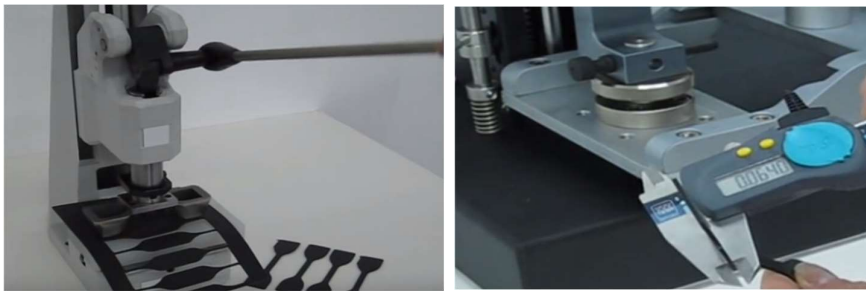




taženo při konstantním nárůstu protažení až do přetržení. Během zkoušky se průběžně zaznamenává tahová síla a odpovídající změna délky zkušební tělesa až do jeho porušení. [102]

#### **Příprava, popis a počet vzorků:**

K této zkoušce byly připraveny vzorky polyurey o velikosti 300 x 50 x cca 2,5 mm. Použito bylo 7 vzorků referenčních a 7 vzorků materiálu degradovaného vystavením umělému stárnutí při teplotě 75°C po dobu 16ti týdnů. Zkušební tělesa se před zkouškou temperují po dobu nejméně 20 hodin při teplotě 23±2°C a relativní vlhkosti vzduchu 50±20 %. Bylo docíleno průměrné tloušťky materiálu 2,5 mm.



*Obr. 95: Příprava vzorků elastomerní polyurey pro stanovení tahových vlastností*

*Obr. 96: Měření vzorků*

#### **Použité pomůcky a přístroje:**

Trhací mechanický stroj FP 100 s rozsahy 10, 20, 40 a 100 kN je vybaven průběžným zaznamenáváním síly a odpovídající délky zkušební tělesa a udržuje rovnoměrnou rychlost oddalování čelistí. Trhací stroj vyvine dostatečnou sílu (nejméně 2000 N) a rychlost oddalování čelistí musí být 100±10 mm za minutu. Šířka čelistí nesmí být menší než 50 mm. Trhací stroj musí být opatřen upínacími čelistmi, které udržují nebo zvyšují tlak čelistí jako funkce nárůstu síly působící na zkušební těleso a musí zajistit upevnění zkušební tělesa tak, aby se těleso z čelisti nevysunulo o více než 1 mm u výrobku o tloušťce o 3 mm a o více jak 2 mm u výrobků o větší tloušťce. Způsob upnutí nesmí způsobovat předčasné porušení zkoušeného materiálu. Systém měření síly musí splňovat nejméně třídu 2 podle EN 10002-2 (tj. ±2 %).

#### **Popis experimentální metody:**

Zkušební těleso je taženo při konstantním nárůstu protažení až do přetržení. Během zkoušky se průběžně zaznamenává tahová síla a odpovídající změna délky zkušební tělesa až do jeho porušení. Zaznamenává se maximální síla vyvinutá trhacím zařízením během zkoušky na šířku vzorku 50 mm a protažení při přetržení vzorku. Při experimentu panovaly běžné laboratorní podmínky - teplota vzduchu 23 °C a relativní vlhkost vzduchu 45 %.

#### **Postup experimentu, vztahy pro výpočet:**

Zkušební těleso se pevně upne v čelistech trhacího stroje a je třeba dbát na to, aby podélná osa zkušební tělesa, osa trhacího stroje a čelisti byly správně vyrovnány. Světlá vzdálenost mezi



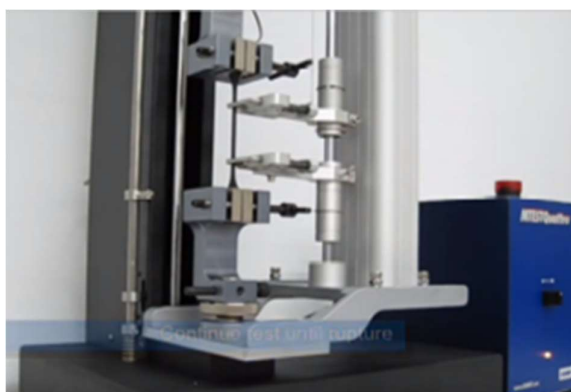
čelistmi musí být (200±2 mm). Zkušební vzorek se označí tak, aby bylo možno sledovat jeho posun z upínacích čelistí. Před zkouškou se doporučuje zkušební těleso předběžně zatížit nejvýše 5 N, aby nedocházelo k jeho uvolnění. Zkouška se provádí konstantní rychlostí oddalování upínacích čelistí (100±10) mm za minutu. Ukázkou zkoušky tahu je možné vidět na *Obr. 97 - 98*.

Ze záznamu zapisovacího přístroje se odečtou síly a vzdálenosti (nebo z registrovaných údajů) se stanoví maximální síla a odpovídající protažení vypočítané ze vzdálenosti oddalování upínacích čelistí trhačím stroje (nebo průtahoměru). Protažení se zaznamenává v procentech základní délky. Vyloučí se všechny výsledky zkoušek, při kterých se zkušební vzorek přetrhne ve vzdálenosti do 10 mm od upínacích čelistí nebo kdy se posune v upínacích čelistech o více než je povolená mez, a provede se nová zkouška s výměnou zkušebních těles.

V některých zdrojích je udáváno, že výsledek tohoto měření tahových vlastností se udává v N/50 mm<sup>2</sup>, případně se uvádí v MPa, přičemž vztah pro výpočet maximálního napětí  $\sigma_m$  (MPa) je definován

$$\sigma_m = \frac{F}{S \cdot \Pi},$$

kde  $F$  (N) je hodnota tahu odečtená z trhačím zařízením,  $S$  (m<sup>2</sup>) je plocha průřezu vzorku,  $\Pi$  (-) představuje matematickou konstantu, udávající poměr obvodu jakéhokoli kruhu v eukleidovské rovině k jeho průměru.



*Obr. 97: Experimentální zjištění pevnosti v tahu, Fsv ČVUT v Praze*

*Obr. 98: Experimentální stanovení pevnosti v tahu dle ASTM (zdroj John Henningsen, Rhino Linings)*

#### **Výsledky experimentu dle normy ČSN EN 12311-1:**

Dosazením zjištěných hodnot do výše uvedeného vztahu byla zjištěna pevnost v tahu **22 MPa**.

#### **Komparace výsledků dle normy ČSN EN 12311-1 a výrobcem deklarované pevnosti v tahu dle normy ASTM D-412:**

Dle technického listu výrobce je pevnost v tahu **2800-3200 psi** v návaznosti na americkou normu ASTM D-412. Přepočtem jednotky psi (jedna libra působící na plochu čtverečního palce) na



MPa byla stanovena hodnota 22 MPa. Toto rozmezí přibližně odpovídá zjištěné hodnotě v laboratoři ČVUT dle ČSN EN 12311-1. Původně byl experiment v r. 2015 proveden u elastomerní polyurey staršího složení, u které pevnost v tahu dosahovala max. 5 MPa, přičemž opět nebyl rozdíl mezi výsledky u vzorků nedegradovaných a zdegradovaných. Tato hodnota tehdy byla ve srovnání s běžnými izolačními materiály průměrná.

#### **Závěr experimentu:**

Výsledky experimentální analýzy potvrdily hodnotu pevnosti v tahu **22 MPa**, deklarovanou výrobcem. Výsledná hodnota pevnosti v tahu je ovlivněna řadou faktorů, z nichž nejpodstatnější je dodržení aplikačních zásad - poměr složek A, B a množství pigmentu. Experimentálně bylo ověřeno, že při chybné aplikaci většího množství pigmentu dochází ke ztrátě mechanických vlastností. Výslednou pevnost je možné zvýšit přísadami, avšak na úkor snížení protažení materiálu a dalších vlastností. Hodnota 22 MPa je ve srovnání s ostatními materiály podobného složení velmi vysoká. Pro povlakové izolace, jako jsou asfaltové pásy, je tato hodnota zatím téměř nedosažitelná. K tomuto číslu se v tuto chvíli blíží jen některé fólie. Díky modifikaci tahových vlastností se materiál jeví jako vhodná volba pro použití jako hydroizolační vrstva u mostů.

#### **6.3.2 STANOVENÍ PŘILNAVOSTI V TAHU dle ČSN EN 13596**

Tato zkouška stanovuje dle ČSN EN 13596 přilnavost v tahu izolací k podkladnímu materiálu, což je důležitá mechanická charakteristika hydroizolačního materiálu. Zkušební těleso je taženo při konstantním nárůstu síly odtrhu. Během zkoušky se zaznamenává síla, při které došlo k odtrhu izolačního materiálu od podkladu příp. jinému porušení. Zkouška proběhla v experimentální laboratoři Fakulty stavební ČVUT v Praze. Tento experiment byl pro omezený počet zkoušek v této laboratoři proveden jako jeden z prvních, a to u elastomerní polyurey původního složení. Komerčně prováděné experimenty naznačují přilnavost v tahu vyšší. [102]

#### **Příprava, popis a počet vzorků:**

K této zkoušce byly připraveny vzorky podkladních materiálů opatřené naneseným hydroizolačním materiálem. Podkladní materiály byly tvořeny betonovou dlažbou, pórobetonem, plnou pálenou cihlou a extrudovaným polystyrenem. Část vzorků byla nanesena na podklad neošetřený, část na podklad ošetřený základovým nátěrem primer od stejného výrobce jako vlastní hydroizolační materiál a některé vzorky byly vystaveny po dobu 8 týdnů umělému stárnutí při teplotě 75°C. Vzorky byly uzpůsobeny tak, aby se na ně daly umístit kovové terče o průměru 50 mm<sup>2</sup>, a to vždy v počtu: 4 kusů na vzorek nedegradovaný bez základového nátěru, 4 kusů na vzorek nedegradovaný s nátěrem primer, 2 kusy na vzorek zdegradovaný bez nátěru a 2 kusy na vzorek zdegradovaný s nátěrem. Kovové terče se přilepily na vzorky dvousložkovým epoxidovým lepidlem. Kolem těchto kovových terčů se hydroizolační vrstva prořízla až k podkladnímu materiálu. Zkušební



tělesa se před zkouškou temperují po dobu nejméně 20 hodin při teplotě  $23 \pm 2$  °C okolního vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu  $50 \pm 20\%$ .

#### **Použité pomůcky a přístroje:**

Pro zkoušku byl použit odtrhový přístroj Comtest OP 3/4 od firmy Coming s rozsahem měření 9 kN a možností měření přilnavosti v tahu s kinetickým řízením nárůstu síly, jenž je automaticky zaznamenávána. Na přípravu vzorků byly použity ocelové terče o průměru 50 mm<sup>2</sup> a dvousložkové epoxidové lepidlo.

#### **Popis experimentální metody:**

Přilnavost v tahu se měří zkušebním zařízením pro stanovení pevnosti v tahu. Tahová síla se aplikuje kolmo na zkušební těleso a zaznamenává se síla, při které dojde k porušení soudržnosti vrstev či porušení některého materiálu souvrství. Při experimentu byly dodrženy běžné laboratorní podmínky prostředí. Teplota vzduchu 23 °C, relativní vlhkost vzduchu 45 %.

#### **Postup experimentu, vztahy pro výpočet:**

Na zkušební těleso s přilepenými ocelovými terči se upevňovacími šrouby připevní mechanismus zkušebního zařízení. Otáčením zatěžovacího ramene (vratidla) se zatěžuje zkušební terč. V průběhu zkoušení je ocelový terč tažen narůstající silou zajišťující rychlost nárůstu napětí  $0,15 \pm 0,01$  N/s.mm<sup>2</sup>. Tato síla musí působit kolmo na zkušební těleso, přičemž se zaznamenává tahová síla, při které dojde k porušení. Velmi důležitou součástí zkoušky je zaznamenání druhu porušení, které udává místo porušení souvrství. Je několik možností porušení:

- porušení v podkladním materiálu
- mezi podkladním materiálem a hydroizolační vrstvou
- v hydroizolační vrstvě
- na rozhraní svrchní částí hydroizolačního materiálu a lepidla
- přímo v lepidle.

Ukázku této zkoušky přilnavosti v tahu je na *Obr. 99*. Přilnavost v tahu se vypočítá podle následujícího vztahu jako napětí při maximální síle přilnavosti v tahu při odtržení. Napětí  $\sigma_t$  (MPa) je definováno vztahem

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A},$$

kde  $F_t$  (N) je maximální síla, při které dojde k odtržení

$A$  (m<sup>2</sup>) zkušební plocha

#### **Výsledek experimentu dle normy ČSN EN 13596:**

Důležitým výsledkem této zkoušky není pouze síla, která je zapotřebí k porušení některé z vrstev skladby hydroizolačního systému, ale právě fakt, v jakém místě skladby k porušení



vyvozeném tahovou silou působící kolmo na skladbu došlo. Z tohoto důvodu jsou na Obr. 100 - 103 jednotlivé příklady porušení souvrství.



Obr. 99: Zkoušení přilnavosti v tahu pomocí odtahového přístroje Comtest OP 3/4

Specifikace hodnot	plocha kruhového terče (cm <sup>2</sup> )	síla, při níž došlo k odtrhu terče (kN)	přilnavost v tahu materiálů na rozhraní odtrhu (MPa)	poznámka vztážená k rozhraní odtrhu - způsob porušení
<b>Podklad: betonová dlažba bez primeru - referenční vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	3,827	> 1,985	různé
<b>Podklad: betonová dlažba s primerem - referenční vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	3,008	1,533	adheze hydroizolace - BD
<b>Podklad: pórobeton bez primeru - referenční vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	1,553	0,791	adheze hydroizolace - PB
<b>Podklad: pórobeton s primerem - referenční vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	1,82	> 0,930	koheze PB
<b>Podklad: cihla plná pálená bez primeru - referenční vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	2,919	> 1,490	různé
<b>Podklad: cihla plná pálená s primerem - referenční vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	2,404	1,225	adheze hydroizolace - CPP
<b>Podklad: extrudovaný polystyren bez primeru - referenční vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	1,596	0,801	Adheze hydroizolace - XPS
<b>Podklad: extrudovaný polystyren s primerem - referenční vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	0,560	0,285	adheze hydroizolace- XPS

Tab. 5: Výsledky měření přilnavosti v tahu pro referenční vzorky [102]



Specifikace hodnot	plocha kruhového terče (cm <sup>2</sup> )	síla, při níž došlo k odtrhu terče (kN)	přilnavost v tahu materiálů na rozhraní odtrhu (MPa)	poznámka vztážená k rozhraní odtrhu - způsob porušení
<b>Podklad: betonová dlažba bez primeru – degradované vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	3,716	1,915	Adheze hydroizolace - BD
<b>Podklad: betonová dlažba s primerem – degradované vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	2,929	1,492	adheze hydroizolace - BD
<b>Podklad: pórobeton bez primeru – degradované vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	1,505	> 0,767	různé
<b>Podklad: pórobeton s primerem – degradované vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	1,804	> 0,915	koheze PB
<b>Podklad: cihla plná pálená bez primeru - degradované vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	2,851	> 1,455	koheze CPP
<b>Podklad: cihla plná pálená s primerem - degradované vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	2,422	1,234	adheze hydroizolace - CPP
<b>Podklad: extrudovaný polystyren bez primeru - degradované vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	1,535	0,801	adheze hydroizolace - XPS
<b>Podklad: extrudovaný polystyren s primerem - degradované vzorky</b>				
průměrné hodnoty	19,635	0,671	0,342	adheze hydroizolace - XPS

Tab. 6: Výsledky měření přilnavosti v tahu pro vzorky degradované (75°C po 8 týdnů).  
(Uvedené zkratky: B – betonová dlažba, PB – pórobeton, CPP – cihla plná pálená, XPS – extrudovaný polystyren). [102]



Obr. 100: Koheze porušení podkladu, PB, Obr. 101: Kohezní porušení podkladu CPP, Obr. 102: (podkladem - XPS a hydroizolace), porušení adheze mezi materiály, Obr. 103: Beton a hydroizolace

### Závěr experimentu:

Zajímavostí měření bylo, že vzorky, na které nebyl nanesen základní nátěr primer (doporučený výrobcem), měly povětšinou lepší přídržnost v tahu než vzorky s primerem (kromě pórobetonu). Tento primer je výrobcem specifikován pouze jako ošetření před nanášením na povrchy s nízkou adhezí.

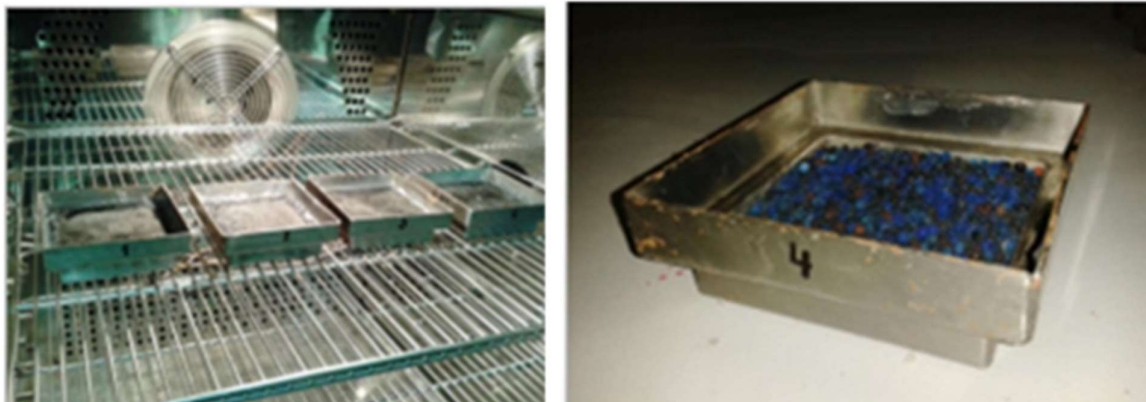
Degradace vyvolaná umělým stárnutím neměla téměř žádný vliv na výsledky. Přílnavost v tahu izolačních materiálů pro vnější a vnitřní prostředí je min. 0,5 MPa. Tomuto požadavku vyhověly všechny zkoušené varianty v Tab. 5 a 6 uvedených příkladů, kromě těch, kde byla na extrudovaný polystyren ošetřený primerem nanášena elastomerní polyurea, a to v obou variantách bez teplotní degradace i s ní.

### 6.3.3 STANOVENÍ TRANSPORTNÍCH PARAMETRŮ PRO VODNÍ PÁRU METODOU DRY CUP

Toto experimentální měření analyzuje velmi důležitou vlastnost hydroizolačních pásů či fólií, jenž je propustnost materiálu pro vodní páru. Zkouška, zabývající se transportem vodní páry, byla prováděna dle ČSN EN 1931 a je určena pro hydroizolace asfaltové, plastové, pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci. V laboratoři ČVUT byl proveden pomezený počet experimentů pouze u elastomerní polyurey původního složení, nicméně dle informace výrobce nedošlo k modifikaci (ani zlepšení) difúzních vlastností na rozdíl od tahových. [96,97,98,99,100,101,102]

### Příprava, popis a počet vzorků:

Příprava vzorků spočívala v nařezání dvou kusů vzorků samostatného hydroizolačního materiálu, který byl již vyříznut ze dvou kusů vzorků 105x 105 mm. Vzorky postupně prošly teplotní degradací a degradací nárazem, jelikož cílem bylo zjistit, zda tyto degradace mají vliv na izolační vlastnosti vzorku. Vzorky byly vzduchotěsně upevněny silikonovým tmelem uvnitř horního patra misky o vnitřním rozměru spodního patra 100 x 100 mm, ve kterém byl nasypán vysušený silikagel. Ukázka vzorků a přípravy misky se silikagelem je na Obr. 104 a 105.



Obr. 104 a 105: Experiment transportních parametrů

#### **Použité pomůcky a přístroje:**

Elektronická váha, klimatická komora, silikagel, silikonový tmel, misky, nůž, teploměr, psychrometr.

#### **Popis experimentální metody:**

Měření transportu vodní páry se provádělo miskovou metodou bez teplotního spádu. Šlo o metodu dry-cup. Ve vzduchu (uvnitř klimatické komory) obsažené vodní páry difundují hydroizolačním materiálem z míst vyššího parciálního tlaku vodní páry do míst s nižším parciálním tlakem. To znamená, že hnací silou vodní páry je rozdíl parciálních tlaků vodní páry uvnitř misky a mimo ni. Metoda spočívala v měření difúzního toku vodní páry prošlé vzorkem při znalosti relativní vlhkosti vzduchu pod a nad měrným povrchem vzorků, z čehož se vypočítal rozdíl parciálních tlaků. Miska se vzorkem se periodicky vážily a zjištěné příbytky hmotnosti se vynesly v závislosti na době vážení do grafu. Měření probíhá až do doby, kdy je dosaženo přímkového charakteru křivky – ustálení toku vodní páry.

#### **Podmínky prostředí při měření:**

Teplota vzduchu v klimatické komoře byla nastavena dle normy na 23 °C, přičemž relativní vlhkost vzduchu byla nastavena na 75 %. Hodnoty teploty silikagelu umístěného pod hydroizolační vrstvou byly 23 °C a relativní vlhkost byla cca 5 %. Parciální tlak nasycené vodní páry při teplotě 23°C byl 2809 Pa.

#### **Postup experimentu, vztahy pro výpočet:**

Nejprve byly jednotlivé vzorky zváženy a byl zaznamenán čas jejich vložení do klimatické komory, ve které byly již nastaveny uvedené parametry vnitřního vzduchu. Vážení těles probíhalo vždy po 24 hodinách a bylo zaznamenáváno po dobu 10 dní, přičemž změny hmotnosti jednotlivých těles vypovídaly o množství páry difundující daným vzorkem. Z hodnoty parciálních tlaků nad a pod





zkoušeným hydroizolačním vzorkem se vycházelo při výpočtu rozdílu parciálního tlaku  $p_p$  (Pa). Ten byl vypočten ze vztahu:

$$p_p = (p_{23} \cdot RH_{NAD}) - (p_{23} \cdot RH_{POD}),$$

kde  $p_{23}$  (Pa) je parciální tlak při 23°C,  
 $RH_{NAD}$  (%) je relativní vlhkost vzduchu v komoře  
 $RH_{POD}$  (%) relativní vlhkost silikagelu.

Z hodnoty rozdílu parciálních tlaků, jenž byl stejný pro všechny vzorky, se poté vycházelo společně se známými hodnotami tloušťky izolačního materiálu  $d_D$  (m) a množstvím páry, difundující hydroizolačním vzorkem  $\Delta m$  (kg) při výpočtu součinitele difúzní vodivosti  $\delta$  (s), který je popsán vztahem

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d_D}{S_s \cdot t \cdot \Delta p_p},$$

kde  $S_s$  (m<sup>2</sup>) je měrná plocha vzorku  
 $t$  (s) časové období, korespondující s transportem vodní páry.

Z hodnoty součinitele difúzní vodivosti se vypočetl součinitel difúze vodní páry  $D$  (m<sup>2</sup>/s) ze vztahu

$$D = \frac{\delta \cdot R_m \cdot T}{M},$$

přičemž  $R_m$  je univerzální plynová konstanta = 8,314 J/mol K,  
 $T$  (K) je termodynamická teplota,  
 $M$  (kg/mol) představuje molární hmotnost vody.

Hodnota faktoru difúzního odporu  $\mu$  (-) charakterizující hydroizolační materiály je definována vztahem

$$\mu = \frac{D_A}{D},$$

kde  $D_A$  je součinitel difúze vodní páry ve vzduchu (při teplotě 23 °C = 2,5 x 10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s).

### Vyhodnocení transportních parametrů pro vodní páru

Tato zkouška byla prováděna dle ČSN EN 1931. Shrnutí výsledků experimentálního měření je v Tab. 7.: Výsledky měření difúzních parametrů hydroizolace pro transport vodní páry.



označ. vzorků	$d$ (mm)	$p_p$ (Pa)	$m$ (g)	$\delta$ (s)	$D$ (m <sup>2</sup> /s)	$\mu$ (-)
D = deg. umělým stárnutím + náraz. R = referenční	tloušťka vzorků	rozdíl Parcial. Tlaků	změna hmotnosti za $t = 15840$ s	součinitel difúzní vodivosti	součinitel difúze vodní páry	faktor difúzního odporu
1D	2,623	1966,33	0,11	1,54E-14	2,09E-09	<b>12058,71</b>
2D	2,431	1966,33	0,12	1,56E-14	2,10E-09	<b>11651,11</b>
3R	2,426	1966,33	0,12	1,56E-14	2,09E-09	<b>11752,32</b>
4R	2,534	1966,33	0,11	1,49E-14	2,02E-09	<b>12378,73</b>

Tab. 7: Vyhodnocení transportních parametrů pro vodní páru v elastomerní hydroizolaci [102]

Jak je patrné z výsledků, rozdíl mezi vzorky degradovanými teplotou a nárazem (1D, 2D) a vzorky referenčními (3R, 4R) nebyl nijak průkazný. Tyto rozdíly mohou být způsobeny nejistotou měření, případně kvalitou zpracování vzorků. Z této zkoušky vyplývá, že kombinací tepelné degradace (umělé stárnutí) a degradací nárazem nedošlo k žádné změně materiálu, která by měla vliv na jeho hydroizolační vlastnosti, což byl velmi překvapivý výsledek. Tím bylo prokázáno, že analyzovaný materiál opravdu odolal zatížení nárazem z výšky 2,0 m (jedna ze zkoušek, které zde nejsou pro omezený obsah rozebrány), čímž byla potvrzena jeho výborná mechanická odolnost.

Požadovaná velikost faktoru difúzního odporu hydroizolačního materiálu je odvislá od budoucího použití izolantu. Běžné asfaltové izolace, které se dnes používají, mají hodnotu  $\mu = 8000 - 25000$ , přičemž fóliové izolace se pohybují až o řád výše. Z tohoto důvodu je doporučeno nanášení analyzovaného materiálu pro náročnější izolační aplikace v tloušťce kolem 3,5 mm.

#### 6.3.4 ODOLNOST MATERIÁLU VŮČI BAKTERIÍM A PLÍSNÍM dle normy ČSN EN ISO 846

Důležitou částí práce bylo posouzení zkoušky plastu dle normy ČSN EN ISO 846, metoda A,B,C. Tento výzkumný úkol měl mimo jiné prokázat možnost užití materiálu při rekonstrukcích a zjistit jeho odolnost vůči biokorozi.

- Pro vizuální hodnocení bylo připraveno 15 zkušebních těles o rozměrech 30 x 30 mm o přibližné tloušťce 2 mm a 3 vzorky o rozměru 30 x 10 mm
- Inokulovaná a sterilní kontrolní zkušební tělesa byla inkubována při teplotě 24+/- 1 °C po dobu 4 týdnů.
- Pro zkoušku s plísněmi byl použit mikrobiocidní zásobní roztok:



Roztok minerálních solí, připravený dle odstavce **5.2.3.1 normy ČSN EN ISO 846**. Tento roztok byl použit pro přípravu neúplného a úplného živného agaru.

Pro zkoušku s bakteriemi byl použit agar z minerálních solí, připravený dle odstavce **5.3.2.3 normy ČSN EN ISO 846**.

Zkoušky byly provedeny dle metod A, B, C:

**Metoda A - Zkouška růstu plísní:**

Zkušební tělesa byla vystavena směsi spor plísní v přítomnosti neúplného živného prostředí (bez zdroje uhlíku). Plíseň může růst jen na úkor materiálu. Pokud zkušební tělesa neobsahují složky živného prostředí, nemůže plíseň vyvinout mycelium a nedochází k poškození plastů. Bylo provedeno jedno stanovení.

**Metoda B - Stanovení fungicidních efektů:**

Zkušební tělesa byla vystavena směsi spor plísní v přítomnosti úplného živného prostředí, tj. se zdrojem uhlíku. I když plast neobsahuje žádné složky živného prostředí, plísně mohou růst okolo zkušebních těles a produkty jejich metabolismu mohou napadat materiál. Provedeno jedno stanovení.

**Metoda C – odolnost vůči bakteriím:**

Účinek bakterií na zkušební tělesa se hodnotí při použití neúplného živného prostředí. Provedeno jedno stanovení.

d) Plísně použité při zkoušce:

*Aspergillus niger van Tieghem, kmen ATCC 6275*

*Penicillium funiculosum Thom, kmen CMI 114933*

*Paecilomyces variotti Bainier, kmen ATCC 18502*

*Chaetomium globusum Kunze: Freis, kmen ATCC 6205*

e) Zkušební plísně byly získány z národní sbírky mikroorganismů.

f) Změny fyzikálních vlastností nebyly v průběhu zkoušky měřeny

Dosažené výsledky jsou shrnuty v *Tab. 8 - 9*, odstavec 10.1 Vizualní hodnocení

**Výsledky experimentu dle normy ČSN EN ISO 846:**

Vizuálně bylo hodnoceno celkem 5 vzorků, vystavených působení výše uvedených plísní v různých prostředích v období od 25.2. až do 15.3. 2016 na vzorcích.



6 MODERNÍ TECHNOLOGIE REKONSTRUKCÍ STAVEB SE ZAMĚŘENÍM NA  
ANALÝZU HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU NA BÁZI ELASTOMERNÍ POLYUREY

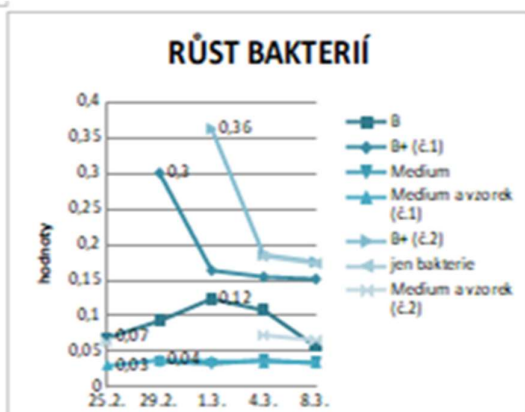
Mikrobiocidní roztok označení:	číslo vzorku:	Hodnocení						
		29.2.	1.3.	4.3.	8.3.	15.3.	21.3.	15.4.
CZ-inok.	č.1	0	0	1	2	2	2	2
CZ-inok. (č.2)	č.2	0	0	1	2	2	2	2
NP- inok.	č.5	0	0	2	1	1	1	1
NP bez inok.	č.6	0	0	0	0	0	0	0
NP inok. (č.2)	č.7	0	0	2	2	2	2	2

Tab. 8: Hodnocení vzorků

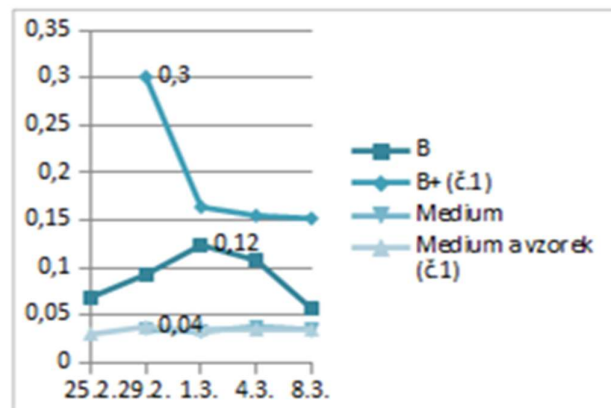
Dosažené výsledky růstu bakterií v období 25.2.- 8.3.2016.

MĚŘENÍ	25.2.	29.2.	1.3.	4.3.	8.3.
B	0,069	0,093	0,124	0,108	0,057
B+ (č.1)		0,301	0,164	0,155	0,152
Medium		0,036	0,033	0,038	0,034
Medium a vzorek (č.1)	0,03	0,038	0,036	0,035	0,034
B+ (č.2)			0,363	0,186	0,176
jen bakterie				0,184	0,174
Medium a vzorek (č.2)	0,063			0,073	0,066
<b>Legenda:</b>	maximální hodnota				

Tab. 9: Hodnocení vzorků



Graf 1: Růst bakterií- všechny hodnoty



Graf 2: každé měření



### Závěr experimentu:

Biologická koroze, tj. napadení materiálu mikroorganismy, zejména plísněmi, je u běžných polymerů velmi rozšířena. O možnostech napadení polymerního materiálu mikroorganismy rozhoduje především jeho chemické složení, tj. do jaké míry může být pro ně zdrojem uhlíku, dusíku nebo jiných tzv. biogenních prvků, a samozřejmě podmínky a prostředí, ve kterých je výrobek aplikován. Korozi vyvolávají metabolity nebo enzymy produkované mikroorganismy. Způsobují naleptávání povrchu výrobků. Některé mikroorganismy napadají jen změkčovadla, která analyzovaný materiál neobsahuje, což lze považovat za jednu z výhod.

Z plniv podléhají biologické korozi především organická plniva typu dřevěné moučky. Živnou půdu poskytují mikroorganismům také tepelné stabilizátory nebo maziva, především na bázi kyselin stearové a laurové, které ale nejsou součástí analyzovaného materiálu.

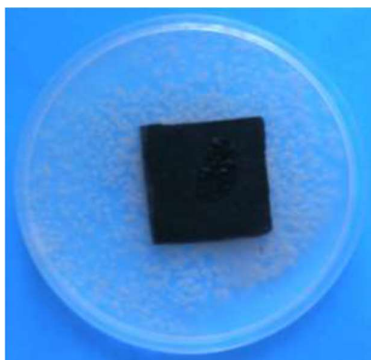
**Z výše uvedených výsledků vyplývá, že k inhibici růstu plísní a bakterií na plastu nebo v živném prostředí dochází, což poukazuje na to, že hydroizolační materiál na bázi elastomerní polyurey není fungicidní.** Největší intenzita je patrná u vzorku č. 7 (neúplný živný agar, inokulované prostředí), kde (přibližně po týdnu působení plísní) dosahuje hodnoty 2. U vzorků č. 1 a 2 je růst během celého monitorovacího období patrný pouze na hranách materiálu - řezných plochách, kde lze očekávat vzhledem ke způsobu aplikace materiálu odlišné vlastnosti oproti povrchovým plochám. U vzorku č. 6 nebyla zaznamenána žádná aktivita. U žádného ze vzorků se plísně nevyskytují na spodní ploše. Fotodokumentace růstu plísní je součástí přílohy protokolu o experimentu.

Dále byla vizuálně hodnocena odolnost vůči bakteriím u vzorků č. 4 a 5. Během období 25.2. - 15.3.2016 nedošlo k růstu v agaru kolem zkušebního tělesa, z čehož lze usuzovat, že plast neobsahuje žádné složky živného prostředí.

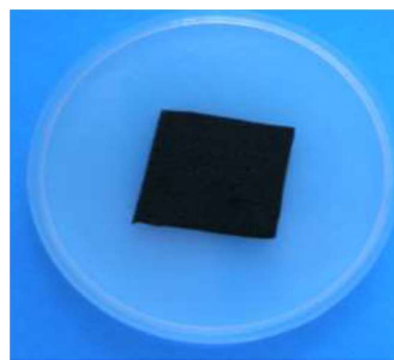
Z provedené analýzy vyplývá možnost užívání tohoto materiálu např. jako hydroizolace, která byt není fungicidní, **vykazuje vedle nadprůměrných hydroizolačních parametrů i odolnost vůči biologickým činitelům**, což je dobře patrné z fotodokumentace experimentu.



Vzorek č.5 s inokulovaným prostředím

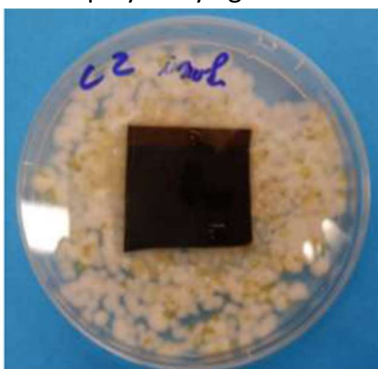


Vzorek s inokulovaným prostředím 15.3.

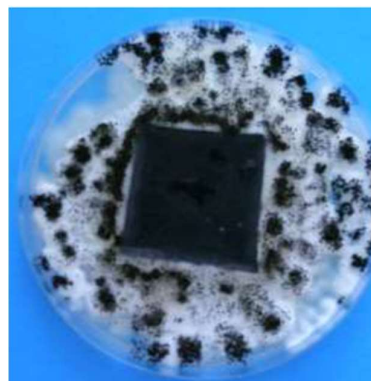


Vzorek bez inok. prostředí 15.3.

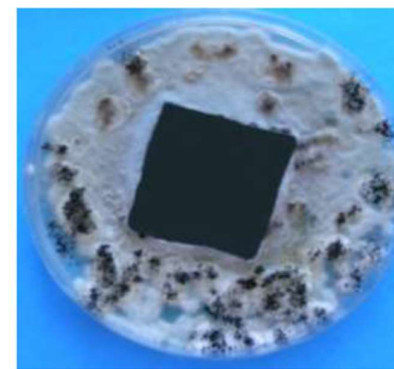
### 1. Neúplný živný agar



Vzorek č.1. s inokulovaným prostředím

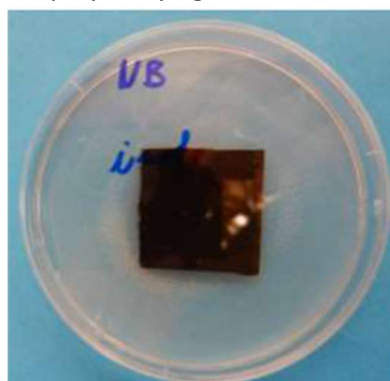


Vzorek s inokulovaným prostředím 8.3.

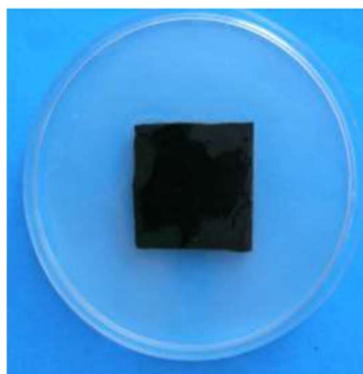


Vzorek s inokulovaným prostředím 15.3.

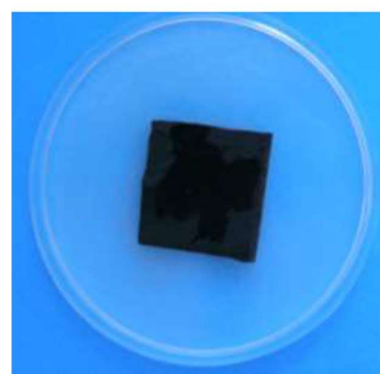
### 2. Úplný živný agar



Vzorek č.3 s inokulovaným prostředím



Vzorek s inokulovaným prostředím 4.3.



Vzorek s inokulovaným prostředím 8.3.

### 3. Bakterie

Obr. 106: Fotodokumentace z experimentu - 1. řádek neúplný živný agar, 2. řádek - úplný živný agar, 3. řádek - bakterie.



### 6.3.5 DALŠÍ EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZY:

Dále jednak byly provedeny a jsou naplánovány následující experimentální analýzy ve spolupráci s TZÚS v rámci zajištění certifikace. Některé výsledky níže uvedených komerčních experimentů se v současné době vyhodnocují.

Stanovení plošné hmotnosti, ČSN EN 1849-1

Stanovení přídržnosti (vlhké podklady), EOTA TR 004

Stanovení tahových vlastností, ČSN EN ISO 527-1,3

Stanovení nasákavosti plastů ve vodě, ČSN EN ISO 62

Stanovení vodotěsnosti, ČSN EN 1928

Stanovení přemostění trhlin při jedné teplotě, ČSN EN 1062-7

Stanovení odolnosti kapalinám (pouze uložení a vizuální hodnocení), ČSN EN ISO 2812-1

Součinitel difúze radonu

Reakce na oheň (klasifikace -třída E, F)

Zdravotní nezávadnost (emise VOC)

Šíření požáru střešním pláštěm (ČSN EN 13501-5)

Stanovení propustnosti vodní páry, ČSN EN 1931

Protiskluznost (ČSN 74 4507/ČSN EN 13893)

Stanovení zrychleného stárnutí za tepla, EOTA TR 011, 100 dnů, 1 typ podkladu

Stanovení zrychleného stárnutí pomocí horké vody, EOTA TR 012, 30 dnů, 1 typ podkladu

Stanovení delaminace po stárnutí za tepla a horké vodě (1 typ podkladu - beton)

Stanovení mrazuvzdornosti (15 cyklů), ČSN 73 2579

Stanovení odolnosti proti umělému stárnutí při dlouhodobém kombinaci UV záření, zvýšené teploty a vody, ČSN EN 1297, 1000 hodin

Stanovení odolnosti proti statickému vtlačení, EOTA TR 007 (mimo čl. 5.2.5 c) - kov místo betonu

Stanovení odolnosti proti dynamickému vtlačení, EOTA TR 006, kov místo betonu

Stanovení odolnosti proti dynamickému vtlačení po UV stárnutí, EOTA TR 006, kov místo betonu

### 6.4 SHRUTÍ ZJIŠTĚNÝCH VLASTNOSTÍ HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU NA BÁZI ELASTOMERNÍ PLYUREY

Níže jsou shrnuty veškeré ověřené vlastnosti materiálu, resp. upřesněny vlastnosti z technických listů výrobce. Tabulky znázorňují porovnání analyzovaného materiálu v porovnání s povlakovými izolacemi, které jsou na našem trhu běžně používané a patří mezi špičku ve své kategorii. Specifické vlastnosti nátěrových a stříkaných hydroizolačních hmot byly porovnány zvlášť.



### Popis materiálu:

Jedná se o hydroizolační elastomerní polyureu, která se aplikuje vysokotlakým zařízením v hmotnostním poměru 1:1 v tloušťce od 1,5 mm - maximální tloušťka aplikované vrstvy není omezena. Nástřikem je vytvořena monolitická bezešvá vrstva, která může být aplikována na jakýkoliv tvar či materiál. Díky výborným elastomerním vlastnostem materiál odolává vibracím, účinkům od rozpínání nebo naopak smršťování a dalším pohybům (např. u základových konstrukcí a mostovek). Materiál vyniká vysokou flexibilitou a je odolný vůči abrazi i výbuchům. Mezi velké výhody patří, že materiál je pochozí již po dvou hodinách od aplikace a plně zatížitelný po 24 h. Další výhodné vlastnosti materiálu jsou:

- výborné mechanické vlastnosti
- snadná nivelace povrchu
- odolnost vůči chemikáliím a korozi
- snížení hladiny hluku z vibrací, nárazu a výbuchu
- tepelná stálost od -40 °C až +180 °C
- složení ze 100 % pevných látek, neobsahuje rozpouštědla

### Oblast použití:

Materiál na bázi elastomerní polyurey nabízí širokou škálu oblasti použití, viz. níže:

- hydroizolace základových konstrukcí, plochých střech, balkonů či teras, bazénů, nádrží, ČOV, vodojemů apod.
- hydroizolace mostů a lávek
- pochozí hydroizolační krytina (podlahy/ lávky)
- materiál je možné aplikovat i při nízkých teplotách a za nepříznivých podmínek (např. vlhkostních)
- materiál byl atestován na pitnou vodu a je možné ho aplikovat např. v gastronomickém průmyslu, zdravotnictví a v laboratořích. Mimo jiné je vhodný i pro zemědělství a petrochemický průmysl.

Základní chemické vlastnosti elastomerní polyurey	
Viskozita (25°C)	350- 550 (A- Izokyanát), 1,03 (B- pryskyřice)
Pevné látky v objemu	100 %
Nestálé organické sloučeniny	0/0
Hmotnostní poměr složek	1:1 (A:B)
Doba úplného vytvrzení	24 hodin

Tab. 10.: Základní chemické vlastnosti elastomerní polyurey





6 MODERNÍ TECHNOLOGIE REKONSTRUKČÍ STAVEB SE ZAMĚŘENÍM NA  
ANALÝZU HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU NA BÁZI ELASTOMERNÍ POLYUREY

Základní fyzikální vlastnosti elastomerní polyurey	
vlastnost	hodnota/ (norma, podle které byl materiál testován)
tvrdost	50+/- 5 (dle ASTM D- 2240)
pevnost v tahu	2800-3200 psi (dle ASTM D-412), 19,3-22,0 MPa dle ČSN EN 12311-1
odolnost při přetržení	500-600 psi (dle ASTM D-624), 87,6-105,1 kN/m
protážení	250- 450% (dle dle ASTM D-412 a ČSN EN 12311-1)
odolnost vůči nárazu	160 in/lbs (dle ASTM D-256)= 28,0 kN/m
hustota	1104-1120 kg/m <sup>3</sup>
pevnost v tlaku	800 psi= 5,5 MPa (dle ASTM D-695-96)
nasákavost	pod 1% (dle ASTM D-570)

Tab. 11: Základní fyzikální vlastnosti elastomerní polyurey

Výsledky odpovídají analýze materiálu při tloušťce 2,5 - 3 mm. U materiálu byla mimo jiné zjišťována abrazivní schopnost (dle Taber Abrasion Resistance test), která prokázala úbytek 11 mg při 1000 cyklech.

Zásadou aplikace elastomerní polyurey je dodržení veškerých pokynů výrobce včetně použití doporučeného aplikačního zařízení. Aplikaci nelze provést na neupravený a neošetřený povrch. Výsledné vlastnosti materiálu jsou závislé především na poměru směsí A/B pigmentu a zkušenosti aplikátora. Z tohoto důvodu může aplikaci provádět pouze certifikovaný aplikátor. Pro aplikace se doporučuje využít zařízení typu Graco Reactor EXP-2 s možností aplikačního tlaku 2300 psi. Dále je třeba dodržet aplikační teploty materiálu, podkladu i hadice, viz. tabulka níže:

Iso Component	Resin Component	Hoses	Substrate Surface
140°-160°F (60°-71°C)	140°-150°F (60°-66°C)	140°-160°F (60°-71°C)	-20°-120°F (-29°-49°C)

Tab. 12: Aplikační teploty pro aplikaci elastomerní polyurey [139: Rhino Linings, data sheets ]

Tab č. 13 a 14 znázorňují porovnání vybraných vlastností analyzovaného materiálu vůči povlakovým izolacím standardních výrobců a polyurea nátěrů či nástřiků. Z této analýzy vyplývá, že hydroizolační materiál na bázi elastomerní polyurey má v mnoha ohledech lepší vlastnosti než standardní hydroizolace. V porovnání s povlakovými izolacemi se jedná zejména o jeho vynikající mechanické parametry, kterým se částečně blíží některé nátěrové či nástřikové hmoty na bázi polyuretanů a polyureí. Obecným nedostatkem pásů z oxidovaných asfaltů i víceméně většiny pásů z modifikovaných asfaltů (především s kovovou vložkou) je jejich tažnost a pevnost v tahu. V případě, že dochází k sedání konstrukce, na které je pás umístěn, resp. k tahovému namáhání, smršťování a k teplotnímu zatížení pásů, dochází k jejich postupnému porušení. Srovnáním s materiály na obdobné bázi lze konstatovat, že hydroizolace vyniká teplotní stálostí a možností aplikace materiálu při extrémních teplotách či za vysoké vlhkosti. Problematická je u jiných materiálů také jejich technologická proveditelnost a výsledná tloušťka aplikace. U všech dostupných hydroizolačních



materiálů na našem trhu bylo zjištěno, že jejich aplikace je podmíněna minimálně předchozím provedením penetračního nátěru a většinou i krycí vrstvy, přičemž tloušťka vrstev je značně omezená. V případě nedodržení tohoto postupu a doporučené tloušťky nejsou vytvořeny podmínky pro deklarované vlastnosti. Analyzovaný materiál je v tomto případě univerzálnější, neboť je možné ho aplikovat i bez předchozího provedení primeru/ penetrace od tloušťky 1,5 mm po neomezenou hodnotu. Předběžné výsledky však poukazují na o něco horší faktor difúzního odporu analyzovaného materiálu než u klasických povlakových hydroizolací. Tuto vlastnost však lze vylepšit aplikací větší tloušťky. Všechny porovnávané materiály jsou velmi hořlavé, nicméně třídu reakce na oheň lze u řešeného materiálu vylepšit přidáním retardéry do směsi, které jsou výrobcem nabízeny. Nesrovnatelná je především škála oblasti použití materiálu vůči porovnávaným hydroizolačním materiálům. [17,96,97,98,99,100,101,102]



6 MODERNÍ TECHNOLOGIE REKONSTRUKČÍ STAVEB SE ZAMĚŘENÍM NA ANALÝZU HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU NA BÁZI ELASTOMERNÍ POLYUREY

název	popis	použití	tloušťka mm	pevnost v tahu (MPa)	Tažnost %	faktor dif. odporu	hořlavost tř. reakce na oheň	nasákavost vodou-28 d	teplota podkladu/teplotní stálost	součinitel difúze radonu m <sup>2</sup> /s
ELASTEK 40	SBS modif. Asfalt, vložka z PE rohože	iz. střech - 2 a více pásů	4,2	2,62	30	20000 E	1,3-2,8%	Od -15 do +100°C	9,2*10 <sup>-13</sup>	
Dekbit V60 535	oxidovaný asfalt vložkou z sklen. r.	iz. spod. stavby a střech z více pásů	3,5	1,26	2	40000				
Glastek 30	SBS modif asfalt, vložka z sklen. r.	iz. plochých střech z více pásů	3	2,67	3	20000 E	2,00 %	Od -20 do 90°C	14* 10 <sup>-12</sup>	
TopDek Cover	SBS modif asfalt, vložka z PE rohože	iz. střech z více pásů	1,8	5,56	40	34 E	2,00 %	Od -20 do 90°C	15*10 <sup>-12</sup>	
Dekplan 77	folie z mtkženého PVC	iz. střech z více pásů	1,2	8,33	2	15000 E	2-3%	Od -20 do 90°C	1,8*10 <sup>-11</sup>	
Dekplan 79 PES	folie z mtkženého PVC s PE rohoží	iz. střech z více pásů	3,2	4,06	40	15000 E	2-3%	Od -25 do 100°C	1,5*10 <sup>-11</sup>	
Alkorplan 35034	folie z mtkženého PVC	iz. spodní stavby	1,5	17	275	15000 E	2-3%	Od -20 do 100 °C	22*10 <sup>-12</sup>	
Sikaelastic 821 LV	polyuretan	izolace mostů	5	12	300	E	1,50 %	teplota podkladu +10, od 0 až 100 °C	21*10 <sup>-12</sup>	
Sikafloor 400 N Elastic	polyuretanová pryskyčice	hydroizolace	2	12,200-250	E	E	1,50 %	teplota podkladu +10, od 0 až 100°C	12*10 <sup>-12</sup>	
Urea spray 400 (Betosan)	polyuretan	hydroizolace	2	21,340-400	sd=řída II	F	Pod 1%	od 0 až 30°C	5*10 <sup>-12</sup>	
<b>RHINO LININGS</b>	<b>elastomerní polyurea</b>	<b>univerzální použití</b>	<b>2 21-22</b>	<b>Až 450</b>	<b>12400 E - VO, možné přidat retardér - až B</b>		<b>Pod 1%</b>	<b>Od -40 do +180 °C</b>	<b>5* 10<sup>-13</sup></b>	

nejlepší vlastnosti v dané kategorii pro hydroizolační materiály (záleží na oblasti aplikace a požadavcích)

název	popis	použití	teplotní stálost	doba vytvrzení	obsah pevných částic	popis vrstev aplikace	tloušťka aplikace	typ aplikace
Sikaelastic 821 LV	polyuretan	izolace mostů	teplota podkladu +10, od 0 až 100	vytvrzené až po 14 dnech	85,00 %	primer+Sikaelastic+ top coat (nutné TP mezi vrstvami)	2 mm	nátěr
Sikafloor 400 N Elastic	polyuretanová pryskyčice	hydroizolace	teplota podkladu +10, od 0 až 100	vytvrzené až po 14 dnech	85,00 %	primer+Sikafloor+ top coat (nutné TP mezi vrstvami)	2 mm	nátěr
Urea spray 400	polyuretan	hydroizolace	od 0 až 30°C	penetrace (urea prim c.) - po 12h cca do 48h aplikace Urea spray Urea top sw min po 8h	obsahuje rozpouštědla obsah pevných částic neuvede	penetrace+ Urea spray 400+ top coat (nutné TP mezi vrstvami)	2 mm (od 1- max 5 mm)	nátěr/násťfik
<b>RHINO LININGS</b>	<b>elastomerní polyurea</b>	<b>univerzální použití</b>	<b>Od -40 do +180</b> <b>teplota podkladu -29 až 49</b>	<b>vytvrzené do 24 hodin</b> <b>pochází po 2 h</b>	<b>100,00 %</b>	<b>samostatná vrstva zajišťuje uvedené vlastnosti</b>	<b>Od 1,5 mm</b> <b>po neomezené tloušťky</b>	<b>násťfik</b>

nejlepší vlastnosti v dané kategorii pro hydroizolační materiály (záleží na oblasti aplikace a požadavcích)

Tab. 13-14: Porovnání vlastností hydroizolačních materiálů [spolupráce s 102]

Pozn. Teplotní stálost materiálu elastometni polyurey se odvíjí podle typu přísad pro danou aplikaci.



## 7 ANALÝZA HYDROIZOLAČNÍCH SYSTÉMŮ MOSTŮ

Železobetonové mosty jsou navrženy s životností ve funkčním provozu na dlouhou řadu let. Beton je však u mostů během provozní životnosti vystaven mnoha agresivním vlivům, jako je proměnlivá zátěž a vibrace, extrémní povětrnostní podmínky, přítomnost chloridů v rozmrazovacích solích a cykly zmrazování a tání, v přímořských oblastech navíc chloridy nesenými vzduchem. Mnoho stávajících konstrukcí bohužel neodpovídá požadavkům současných norem, což je také jedním z důvodů vzniku poruch a degradace, které vedou k významnému zkrácení životnosti.

Trvanlivost se tak čím dál více spojuje v souvislosti s mostními konstrukcemi. Jedná se především o stavby, které bývají významným prvkem města, krajiny nebo součástí národního kulturního dědictví. Kromě trvanlivosti se udržitelnost stává dalším velmi důležitým faktorem při rekonstrukcích mostů. Dopad větších zásahů do mostních těles či celkových rekonstrukcí bývá součástí předběžných zhodnocení rizik. Při současných realizacích mostních rekonstrukcí proto bývá jedním z klíčových faktorů výběr ekologicky šetrných materiálů - v případě hydroizolačních materiálů je např. čím dále více dávana přednost materiálům, které neobsahují VOC (těkavé organické látky) apod. Ekologická uvědomělost souvisí i s minimalizací odpadů a šetrným způsobu s jejich nakládáním, snižováním dopravních prodlev a spotřeby energie při výrobě materiálu a výstavbě.

Výše uvedené důvody byly jedny z faktorů, které podpořily používání trvanlivých, hospodárných a udržitelných materiálů pro hydroizolace mostů. Právě v mostním inženýrství si polymery teprve své místo získávají, nicméně lze předpokládat, že se jedná o „materiály budoucnosti“. Provádění hydroizolací asfaltových vozovek u mostů je náročným úkolem vzhledem k požadavkům, které jsou na ně kladeny. Na rozdíl od pozemních staveb, kdy je především zásadním požadavkem vytvoření vodotěsné vrstvy s určitou mechanickou odolností a životností, jsou u mostů tyto požadavky mnohonásobně náročnější. Hydroizolace musí být nejen vodotěsná, ale její životnost musí být srovnatelná s životností mostovky a vedle statického zatížení musí odolávat i dynamickým účinkům dopravy. Tato vrstva musí současně vzdorovat velkým teplotním změnám a musí disponovat schopností přenosu brzdících sil (radiálních a tangenciálních) do konstrukce. S tím úzce souvisí striktní požadavek na dokonalé a celoplošné spojení izolace jak s podkladem, tak s vozovkovým souvrstvím (ochrannou vrstvou izolace). Otázka kompaktnosti se vztahuje zejména k nejčastěji používaným asfaltovým pásům. V případě poruchy této soudržnosti, zejména u moderních vysoce zatížených konstrukcí s tenkovrstvou vozovkou, dochází k poruchám vozovky projevujícím se nejprve výtlučky v obrusné vrstvě a poté až postupnou destrukcí celého systému, která vede k poškození vodotěsnosti izolace. Zároveň je nutné, aby vrstva izolace vykazovala dostatečnou tažnost pro přenesení trhlinek v podkladu. Předpokladem pro provádění veškerých analýz materiálů je splnění výše uvedených požadavků. Tato hypotéza je proto ověřována experimentálně v laboratoři a in-situ.



Hydroizolace plní na mostech stejně důležitou úlohu jako v dalších oblastech pozemního stavitelství. Její nedokonalá funkčnost se obvykle neprojeví bezprostředně, jako je tomu např. u spodní stavby a izolací střech, ale o to závažnější důsledky přináší. Jedná se zejména o nákladné rekonstrukce mostních konstrukcí degradovaných prosakující srážkovou vodou s obsahem rozmrazovacích solí. Téměř každá mostní konstrukce, u které byla v rámci analýzy hydroizolačních materiálů provedena diagnostika, vykazovala především poruchy způsobené pronikáním vody do mostovky a její hromadění v mostním tělese. Těmto problémům by ovšem v řadě analyzovaných případů bylo možné předejít vhodnějším konstrukčním řešením nosné konstrukce a především provedením kvalitní hydroizolační vrstvy. Mostní izolace má být tedy nejen vodotěsná, ale v celé své ploše také plně kompatibilní s vrstvami umístěnými pod a nad ní.

Izolace musí být navržena nejen z vhodných, ověřených a certifikovaných materiálů, ale musí být také zajištěn požadavek na vzájemné spolupůsobení materiálů v celém souvrství. (V České republice je toto řešeno schvalováním kompletních izolačních systémů počínaje speciální úpravou mostovky přes vlastní vodotěsnou vrstvu až po vrstvu ochrannou.) Proto nelze navrhopvat kombinaci materiálů, jejichž kompatibilita nebyla dostatečně prokázána. Z těchto důvodů byla analýza vybraných hydroizolačních materiálů zaměřena nejen na vhodný výběr materiálu pro konkrétní konstrukci mostu, ale důraz byl kladen i na řešení kompatibility vrstev. Jedná se o inovativní pojetí hydroizolačních systémů pro mostní konstrukce, které v této podobě dosud není používáné (ani ve světovém měřítku). [103]

Vzhledem k normovým požadavkům ČSN 73 6242: 2010 "Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací" a TKP 21 "Izolace proti vodě" je možné navrhovat a provádět pouze izolační systémy schválené Ministerstvem dopravy podle normy ČSN 73 6242: 2010. Tomuto faktu bylo nutné přizpůsobit veškeré normové zkoušky materiálu, který byl dále posuzován jako součást několika navržených systémů, jenž vyhovují výše uvedeným požadavkům na kompatibilitu.

U hydroizolačního materiálu - elastomerní polyurey jsou prováděny experimenty v rámci certifikace prohlášení o shodě (viz. předchozí kapitola „Další experimentální analýzy“).

Vzhledem k velkému rozsahu zkoušek a množství, z nichž se některé v současné době vyhodnocují, případně dosud nebyly realizovány, jsou v části experimentů uvedeny pouze vybrané. Analyzovaný materiál je možné aplikovat jako hydroizolaci mostů, tak i jako hydroizolaci spodní stavby u pozemních staveb, nicméně zkoušky pro certifikaci materiálu jsou téměř shodné. V následující části práce jsou proto popsány experimenty týkající se analýzy kompatibility souvrství u mostů. [63,103,104,105]



## 7.1 HYDROIZOLAČNÍ SYSTÉMY MOSTOVEK [103,105,106,107,108]

### 7.1.1 METODIKA NÁVRHU HYDROIZOLAČNÍCH SYSTÉMŮ MOSTOVEK

Poruchy hydroizolačního souvrství bývají u mostů jednou z nejčastějších příčin problémů a v některých případech dokonce příčinou destrukce konstrukce mostu. Z tohoto důvodu je v současné době věnována pozornost jejich návrhu, kvalitě jejich realizace a kontrole jejich vlastností. Zásadním požadavkem kvality hydroizolace je, aby její životnost byla shodná s životností mostovky.

Pro zajištění dokonalé ochrany mostovky před účinky vody a chemických vlivů musí materiál jednotlivých vrstev a izolační systémy jako celek splňovat kvalitativní požadavky a konstrukční zásady stanovené ČSN 73 6242- *Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací* a musí být provedeny ve shodě s dokumentací stavby (s těmito TKP, ZTKP a citovanou normou).

Mezi základní požadavky kladené na hydroizolace mostovek patří:

- vodotěsnost
- životnost srovnatelná s životností mostovky (odolnost vůči agresivní vodě a roztokům solí)
- odolnost proti statickému a dynamickému zatížení
- odolnost proti teplotním změnám
- schopnost přenosu brzdných sil (radiální a tangenciální síly) do konstrukce
- dostatečná tažnost pro přenesení trhlinek v podkladu.

Disertační práce se věnuje zejména analýze možnosti použití stříkaných elastomerních polyureí pro hydroizolaci mostovek, tudíž pro značný rozsah tématu hydroizolací mostů jsou níže uvedeny pouze základní typy se stručným popisem.

Vzhledem k tomu, že hydroizolační systémy mostů nejsou obecně rozšířené jako u pozemních staveb, níže je uvedeno základní dělení dle příslušných TP a TKP:

- **asfaltové izolační pásy:** jeden z nejstarších průmyslově vyrobených plošných prefabrikátů z modifikovaného asfaltu s vyztužením pro zajištění mechanických vlastností jednou nebo více vyztužnými vložkami dodávaný v rolích pro přímé užití. Asfaltové hydroizolační pásy musejí jako dodaný výrobek splňovat veškeré kvalitativní požadavky stanovené ČSN 73 6242 a současně hodnoty kvalitativních parametrů deklarované výrobcem. Jako primární vrstva pod asfaltové izolační pásy se provádí kotevní impregnační nátěr nebo pečetící vrstva či penetračně adhezní nátěr v souladu se schváleným izolačním systémem.

V současné době se pro izolaci používají asfaltové pásy modifikované polymery. Jedná se především o modifikaci elastomerického charakteru, kde se používá kopolymeru SBS (styrén–budadién–styren) a nebo elastomerického charakteru obecně označovaného jako modifikace APP (akaktický polypropylen). První APP vznikl jako vedlejší produkt při výrobě IPP (izotaktický polypropylen). Po jeho zavedení jako modifikátoru asfaltových pásů nastává jeho nedostatek a tak se začínají používat další polymery ze skupiny polyolefinů. Pouze v některé literatuře jsou souběžně



s modifikací APP uváděny další možné modifikace polymery ze skupiny polyolefinů. Jedná se především o PE, PP, EVA, APAO. Kombinaci vlastností obou typů pak přináší modifikace ALPA. Proti ostatním izolacím je menší náročnost na strojní vybavení a technologii aplikace. Jejich aplikace je časově náročnější.

Při aplikaci asfaltových pásů je zejména nutné dodržovat následující zásady:

- izolační pásy se kladou ve směru podélné osy mostu a práce postupují tak, aby přesahy jednotlivých pásů byly po směru toku vody, s výjimkou technicky odůvodněných případů, např. napojení AIP podél říms,
- přilepení nebo natavení pásů musí být dokonalé, tedy v celé ploše pásu. Zkouší se pohledem a ocelovou kuličkou nebo poklepem, pod pásem nesmí zůstat žádné dutiny nebo vzduchové bubliny.
- Po celé ploše pásu musí být dosažena přilnavost k podkladu stanovená ČSN 73 6242, pokud není dosaženo požadovaných hodnot přilnavosti nebo v případě vzniku „puchýřů“ je nutno tato místa opravit postupem uvedeným v TPP (Technický a prováděcí předpis).
- měření hodnot přilnavosti stanovených ČSN 73 6242 není požadováno v případě celoplošných izolací pod římsami (izolační vrstva není vystavena dopravnímu zatížení). Celoplošnost natavení pod římsami se zkouší pohledem a poklepem nebo ocelovou kuličkou,
- dokonalé natavení okrajů pásů – po natavení musí být po okrajích pásů viditelný tenký proužek asfaltové krycí hmoty (vytlačené z/pod natavovaného pásu). V žádném případě však nesmí dojít k nadměrnému vytékání hmoty (modifikovaný asfalt) podél okrajů pásů, které vzniká přehřátím při natavování a je příčinou závad v následné ochranné vrstvě,
- při natavování nesmí docházet k přepalování asfaltové krycí hmoty pásu (degradace hmoty), které se projeví při natavování kouřem, případně i viditelným roztavením hmoty pásu na jeho horním povrchu, v takovém případě je nutné regulovat plamen,
- izolační pásy se kladou s přesahem 80 - 100 mm, je nutné celoplošné natavení přesahů; min. 80 mm přesahy sousedních pásů v podélném směru, min. 100 mm v příčném směru,
- u vanových izolací musí způsob napojení izolačního pásu na římsu odpovídat principu řešení dle VL4 – Mosty a TPP zhotovitele odpovídajících pokynům výrobce
- provedení detailů podle dokumentace s dodržáním principů uvedených ve VL4 – Mosty.

- **Asfaltový mastix:** vrstva z asfaltové směsi dle ČSN 73 6242. Náročná izolace z hlediska strojního vybavení pro přípravu směsi, kontrolu kvality, dodržení konstantní složení směsi a požadavků na aplikaci. Vlastní aplikace je rychlá. Asfaltový mastix se navrhuje na betonové a ocelové mostovky s maximálním výsledným sklonem 4 % (v případě zpevnění drtí max. 6 %) v tloušťce a s kvalitativními parametry uvedenými v tabulce 5 ČSN 73 6242. Na betonových mostech se doporučuje provádět pečetivou vrstvu podle čl. 4.3.3.3 ČSN 73 6242. Ve všech případech se na primární vrstvu pokládá adhezní nátěr ze speciálních nízkoviskozních modifikovaných asfaltů za studena v množství 0,5 kg/m<sup>2</sup>



zbytkového pojiva z použité emulze doplněný vložením skelné mřížové textilie (strany oka 10/ 10 mm, pevnost v podélném tahu min. 900 N, v příčném tahu min. 370 N). Tato opatření eliminují tvorbu puchýřů a prokopírování případných trhlin do této vrstvy.

- **Polyuretany, (polyurea):** moderní izolační materiál, jehož aplikace a možnosti použití jsou analyzovány v této práci. Jedná se o izolace z tekutých plastů dle ČSN 73 6242 a TP 164. Izolační vrstva se nanáší po smíchání obou složek v tekutém stavu přímo na mostovku upravenou kotevním impregnačním nátěrem nebo pečetící vrstvou z dvousložkových epoxidových pryskyřic, případně stěrkováním dle schválené skladby izolačního systému. Nanáší se převážně strojně – nástřikem nebo ručně nátěrem. Na analýzu těchto izolačních materiálů se primárně zaměřuje tato práce a jejich metodika použití včetně zhodnocení rizikových faktorů bude dále rozebrána.

- **Izolace polymetylmetakrylátová (PMMA):** izolace dle ČSN 73 6242 a TP 178. Pro tento materiál platí podobné podmínky a požadavky jako pro polyuretany.

- **Izolace ostatní:** různé druhy hmot určené pro provedení izolační vrstvy v izolačních systémech mostovek dle podmínek ČSN 73 6242. Veškeré uvedené hmoty a izolační systémy jako celek musí splňovat zvláštní technické předpisy, tedy technické předpisy výrobce a příslušného státu. Pro některé hmoty platí ČSN EN 1504-1 až 10.

- **Izolace přímo pojížděné:** speciální izolační systém, kde izolační vrstvu tvoří obvykle polymerní hmoty opatřené na horním povrchu protismykovou a/nebo otěruvzdornou úpravou. Horní povrch izolační vrstvy přichází přímo do styku s dopravou, s klimatickými a chemickými vlivy a s údržbou. Navrhují se dle TP 211 (Technické podmínky) – Přímou pojížděné izolace – a TKP kap. 31 a vždy v souladu se schváleným izolačním systémem.

Těmto izolacím je věnována část disertační práce. Hlavní představa o oblasti použití jsou zejména lávky pro pěší, které jsou obvykle navrhovány na pojezd vozidla údržby, v některých případech jsou dimenzovány i na zatěžovací třídu B - těmto požadavkům je proto nutné přizpůsobit i materiálové vlastnosti pojížděné vrstvy.

Odhaduje se, že pásové izolace u nás v současné době zaujímají více než 90 % celkového trhu mostních izolací, v celoevropském měřítku pak asi 80 %. Zbývající část tvoří stěrkové, nátěrové nebo stříkané izolace na bázi polyuretanů, metakrylátů, modifikovaných asfaltů, popř. jiné speciální systémy. Tyto skutečnosti se týkají silničních a dálničních mostů, obecně mostů s vozkovým souvrstvím. Na izolační systémy mostů s kolejovým svrškem jsou kladeny poněkud jiné požadavky a také skladba izolačních systémů je zde jiná. K celkovému významnému zkvalitnění mostních izolací v posledních letech výrazně přispěla aplikace výhradně komplexních izolačních systémů, schválených Ministerstvem dopravy ČR. Náročnější zkoušky je zapotřebí zajistit při aplikaci nátěrových,





stěrkových nebo stříkaných izolací, ale také při provádění pečetících vrstev, které mohou být součástí prakticky veškerých typů izolačních souvrství.

### 7.1.2 OCHRANNÉ VRSTVY, PEČETÍČÍ VRSTVY A ZÁLIVKY IZOLAČNÍCH SYSTÉMŮ- DEFINOVÁNÍ POJMŮ DLE TP 164 [103,105,106,107,108]

Je známo, že speciální úprava povrchu mostovky epoxidovou pryskyřicí, ať už se jedná o kompletní pečetící vrstvu, nebo pouze kotevně impregnační, resp. antikoroziční nátěr (u ocelových mostovek), patří k nejnáročnějším z hlediska kvalitního provedení a zvláště provádění za vhodných klimatických podmínek. Mírou kvality, resp. funkčnosti pečetící vrstvy je zejména její paronepropustnost, tj. míra tzv. zapečetění betonového povrchu mostovky. Tato paronepropustnost se na stavbě, jak známo, prověřuje stanovením hodnoty elektrického odporu pečetící vrstvy podle ustanovení ČSN 73 6242.

Materiály ochranné vrstvy izolačního systému a tloušťky vrstvy určuje projektová dokumentace v souladu se schváleným izolačním systémem a s dodržáním požadavků dle ČSN 73 6242 a těchto TKP. Kvalitativní požadavky na stavební materiály a směsi jsou uvedeny v ČSN EN 13108-6, NA. Požadavky na hotové vrstvy jsou uvedeny v ČSN 73 6122, ČSN 73 6121 a v TKP kap 7, 8, níže jsou uvedeny i poznatky z TP 164. V České republice se na dálničních a silničních mostech nejčastěji používá pečetící vrstva ze speciální epoxidové pryskyřice, obvykle se aplikuje na pásové izolace. Mezi další ochranné vrstvy patří živичné ochranné vrstvy (ref. výrobek BITUMELIT PR5) s povlakovou hmotou modifikovanou směsnými polymery plastomerového typu a později BITUMELIT SBS s povlakovou hmotou modifikovanou elastomery.

#### A) PRIMÁRNÍ VRSTVA:

Primární vrstvou na povrchu mostovky se rozumí nanesení antikorozičního nátěru na povrch ocelové mostovky a aplikace jednoho nebo dvou kotevně impregnačních nátěrů nebo pečetící vrstvy na povrch betonové mostovky.

**Penetračně adhezní nátěr:** plní funkci adhezní a částečně i impregnační. Jedná se o materiál na bázi modifikovaných asfaltů, rozpouštědel a adhezních přísad, slučitelný s další vrstvou izolačního systému. Nátěr se nanáší stěrkou nebo válečkem a poté se doporučuje vkartáčovat nátěr tak, aby pronikl do všech pórů podkladu a zajistil tak dokonalé podmínky pro spojení izolačního systému s podkladním betonem. Při nanášení se nesmějí vytvářet kaluže, musejí být natřeny všechny plochy, které přijdou do styku s izolací.

**Kotevní impregnační nátěr:** se navrhuje a provádí po celé ploše mostovky a na všech dalších vodorovných a svislých plochách, které budou izolovány. Mostovka opatřená kotevním



impregnačním nátěrem není parotěsná. Vlastnosti povrchu betonu mostovky opatřené kotevním impregnačním nátěrem nesmějí vykazovat nižší hodnoty povrchové pevnosti než má povrch betonu před provedením nátěru.

**Dvojnásobný kotevně impregnační nátěr:** rozdíl mezi pečetící vrstvou a dvojnásobným kotevně impregnačním nátěrem spočívá v tom, že u pečetící vrstvy je poslední vrstva uzavírací nátěr epoxidovou pryskyřicí, kdežto u dvojnásobně kotevně impregnačního nátěru je poslední fází systému posyp křemičitým pískem.

**Pečetící vrstva:** pokud je požadován izolační systém s pečetící vrstvou nebo je pečetící vrstva dána projektovou dokumentací stavby, provede se na kotevní impregnační nátěr další vrstva nátěru z téhož druhu epoxidové pryskyřice jako u kotevního impregnačního nátěru, tzv. uzavírací nátěr. Pečetící vrstva představuje po vytvrzení vodotěsnou i parotěsnou úpravu povrchu mostovky, při vizuálním pozorování se povrch jeví uzavřený.

#### **B) ADHEZNÍ MŮSTEK MEZI PRIMÁRNÍ VRSTVOU A IZOLAČNÍ VRSTVOU**

Jednosložkový adhezní můstek mezi primární vrstvou a izolační vrstvou se aplikuje stříkáním nebo ručně válečkem.

#### **C) IZOLAČNÍ VRSTVA**

V rámci návrhu hydroizolačních souvrství tvoří izolační vrstvu analyzovaná elastomerní polyurea.

#### **D) ADHEZNÍ MŮSTEK MEZI IZOLAČNÍ VRSTVOU A OCHRANNOU VRSTVOU**

Jednosložkový adhezní můstek (polyakrylát obsahující rozpouštědlo) mezi izolační vrstvou a ochrannou vrstvou se aplikuje ručně válečkem nebo štětcem.

#### **E) OCHRANNÁ VRSTVA**

Ochranná vrstva se provádí pouze z těch asfaltových směsí, které odpovídají schválenému izolačnímu systému. Asfaltová směs musí být dokladována zkouškou a musí odpovídat požadavkům TP. Ochranné vrstvy se provádějí z MA, AC a SMA.

**Ochranná vrstva:** musí zabezpečit spolehlivou ochranu izolační vrstvy a současně může plnit i funkci ložné vrstvy krytu. Provádí se v co nejkratším termínu po dokončení izolační vrstvy s výjimkou zhoršených klimatických podmínek, které by vedly ke znehodnocení úpravy nebo s výjimkou technologicky odůvodněných případů – např. izolace pod římsami. Ochranná vrstva se provádí z asfaltových směsí: MA, AC, SMA v tloušťkách podle dokumentace stavby s dodržáním ustanovení ČSN 73 6242 dle schváleného izolačního systému.



## 7.2 ANALÝZA POLYURETANOVÝCH (A POLYUREA) IZOLACÍ U MOSTŮ

Na základě provedených průzkumů lze konstatovat, že jednou z nejčastějších poruch izolací mostů je odtržení izolace či její oddělení od podkladní vrstvy, které způsobuje následné zatékání do konstrukce. Problematické bývá také řešení spojů zejména při aplikaci asfaltových pásů. Výše byly v mnoha bodech uvedeny požadavky na hydroizolační systémy, které je třeba dodržovat, nicméně při jejich realizaci není vždy jednoduché je zajistit. Z těchto důvodů bylo přistoupeno k analýze elastomerové polyurey, která dle technických listů výrobce splňuje požadavky na hydroizolace mostů.

Výrobce, jehož hydroizolační materiály jsou primárně užívány v oblasti spodní stavby, teras, střech či bazénů nejsou nabízeny jako součást komplexních hydroizolačních systémů, na které je, jak bylo výše uvedeno, kladen důraz dle českých norem.

Na základě samostatné analýzy materiálu byly víceméně potvrzeny vlastnosti, deklarované výrobcem a lze tyto hodnoty považovat za plně vyhovující dle TN 05.04.03 a TN 05.02.03. Otázkou zásadního významu však zůstává, jaké další vrstvy budou použity tak, aby hydroizolační materiál mohl být aplikován systémově (tedy včetně penetračních, resp. pečeticích a ochranných vrstev apod.). [10,28,96,103,105,106,107,108]

Experimentální analýza této elastomerní polyurey je uvedena v samostatné kapitole, současně jsou provedeny experimenty popsány v úvodu kapitoly.

### **Aplikace polyurea izolací na mostech:**

Práce musejí být prováděny dle TPP (Technologické prováděcí předpisy) zhotovitele, ve kterém jsou obsažena veškerá ustanovení předpisů TP 164. Izolační vrstva se nanáší po smíchání obou složek v tekutém stavu přímo na mostovku upravenou kotevním impregnačním nátěrem nebo pečeticí vrstvou z dvousložkových epoxidových pryskyřic, případně stěrkováním dle schválené skladby izolačního systému. Nanáší se převážně strojně – nástřikem nebo ručně nátěrem.

Dle TPP zhotovitele je třeba dodržovat zejména:

- klimatické podmínky stanovené pro provádění (teploty vzduchu a povrchu podkladu, teplota rosného bodu, relativní vlhkost vzduchu)
- předepsané poměry míchání komponentů (obvykle dvousložkové),
- doby zpracovatelnosti a míchání (při ručním nanášení),
- předepsané spotřeby hmot v kg/m<sup>2</sup> dle návodu výrobce a v závislosti na drsnosti povrchu podkladu,
- doby stanovené pro vytvrzení hmoty v závislosti na klimatických podmínkách,
- tloušťku hotové izolační vrstvy min. 2 mm i v místech přechodů na svislé plochy, rohy, kouty
- dokonalost a celistvost v místech napojení na detaily mostního vybavení a součásti nosné konstrukce



**Úprava povrchu podkladu a způsob odvodnění:** Povrch nesmí obsahovat žádné zbytky předchozích úprav. Povrch mostovky musí být navržen ve sklonu umožňujícím odtok vody z celého povrchu mostovky s tím, že výsledný sklon je minimálně 0,5 % a současně musí odpovídat sklonu vozovky tak, aby byla zajištěna projektovaná tloušťka vozovky. Příčný sklon vozovky se obvykle navrhuje ve střešovitém či jednostranném 2 % spádu. Před aplikací může být povrch ošetřen acetonem pro odstranění mastnoty a dalších nečistot. U betonu je výhodné před aplikací zdrsnit povrch, čímž se dosáhne větší plochy kontaktu povrchu betonu s elastomerní polyureou. Poslední vrstvu může tvořit protiskluzový povrch, pokud se např. jedná o přímo pojížděné vrstvy.

### 7.2.1 EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA A APLIKACE ELASTOMERNÍ POLYUREY:

Hlavní možností nového uplatnění elastomerní polyurey je její aplikace na mostech, kde by měla být prováděna jako součást navržených hydroizolačních souvrství vzhledem k jejím vlastnostem. Samotný proces schvalování nového materiálu jako hlavní hydroizolační membrány mostovek je v mostním inženýrství velmi složitý a podléhá důkladnému testování dle normových požadavků ČSN 73 6242: 2010 "Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací" a TKP 21 "Izolace proti vodě".

#### Analýza hydroizolačních souvrství

Následná navržená souvrství vycházejí z předpokladu, že vrstva elastomerní polyurey vyhovuje na základě certifikovaných zkoušek veškerým předpokladům pro použití jako hydroizolace mostovky. Ze zkušeností s polyurea - stříkanými izolacemi bylo autorkou disertační práce navrženo několik souvrství pro betonové konstrukce, která byla podrobena další experimentální analýze. Jedná se o vlastní návrh autorky provedený v rámci této disertační práce. Vzhledem k velkému rozsahu možných variant bylo zvoleno 5 (6) reprezentativních, na které bude vždy aplikována ochranná (ložní) vrstva MA 11 IV, tl. 35 mm (u konkrétních případových studií dle požadavků na tloušťku vozovky) a obrusná vrstva např. ACO 16+, tl. 50 mm (opět u konkrétních případových studií dle požadavků na tloušťku vozovky). Jedná se tedy o lité asfalty, u kterých je požadovaná orientační hodnota teploty směsi např. 155 - 175 °C (teplotu určuje výrobce konkrétního litého asfaltu, během pokládky se často pohybuje v rozmezí 200 – 250 °C). V případě, že by hydroizolační vrstva (aplikována jako vrchní bez další kotevní/ krycí vrstvy pro lité asfalty) nevyhověla vysokým teplotám pokládky asfaltu, bude složení hydroizolačních souvrství upraveno a případně doporučeno používání nízkoteplotních asfaltových směsí, kdy je teplota pokládky podstatně nižší - okolo 120 - 140 °C. V návaznosti na výše uvedené normy byly provedeny experimentální analýzy následujících hydroizolačních souvrství. Tyto analýzy se průběžně sledují a vyhodnocují. V současné době probíhá proces schvalování navržených souvrství pro možnost použití na pozemních komunikacích.

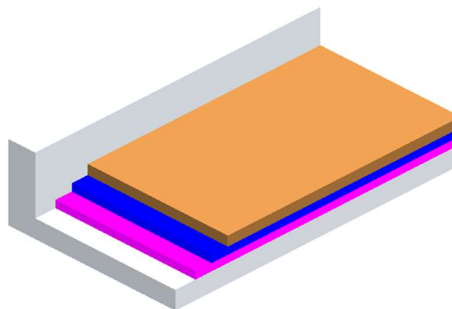


### Hydroizolační souvrství 1:

První z navržených systémů vychází z předpokladu, že hydroizolační vrstva bude aplikována nástřikem na penetrační vrstvu a nebude třeba aplikovat pečetící vrstvu - toto souvrství tedy pracuje s hypotézou, že „hydroizolační vrstva vykazuje takové vlastnosti vodotěsné membrány, kdy není nutné aplikovat pečetící vrstvu“. Na tuto vrstvu budou přímo provedeny vrstvy litých asfaltů. Na základě výsledků zkoušek odolnosti vůči vysokým teplotám samostatného hydroizolačního materiálu bude dále ověřena odolnost materiálu přímo vůči vysoké teplotě při pokládce asfaltu. Záměrně byly zvoleny pro pokládku lité asfalty, které budou případně zaměněny za nízkoteplotní asfaltové směsi či směsi s určitou modifikací (níže uvedené směsi jsou pouze „ukázkové“, z důvodu velkého množství variant a finanční nákladnosti probíhá samostatný výzkum). Dále je možné nástřik elastomerní polyureou doplnit nátěrem polyakrylátu, který je dodáván jako součást hydroizolační vrstvy pro tyto účely. Dle výrobce je tato varianta HS1 možná a probíhá dlouhodobý výzkum v této oblasti. Dalším předpokladem pro aplikaci této vrstvy je, že hydroizolační vrstva vykazuje dostatečnou přídržnost a není nutné aplikovat žádné adhezní vrstvy mezi primární a hydroizolační vrstvou, ani mezi hydroizolační vrstvou a ochranným krytem – ochranná vrstva má dokonalou přídržnost k hydroizolační vrstvě.

Skladba 1 je následující:

- obrusná vrstva: ACO 16+, tl. 50 mm
- postřik živičný
- spojovaný asfaltovou emulzí 0,5 kg/ m<sup>2</sup>
- ochranná (ložní) vrstva: MA 11 IV, tl. 35 mm
- izolační vrstva: elastomerní polyurea, tl. 5 mm
- penetrační nátěr primer (může být nahrazeno jinou primární vrstvou, běžně se používá pro EP aceton i z důvodu výsledků předchozí experimentální části)
- NK (železobeton)



Obr. 107: Hydroizolační souvrství 1

### Hydroizolační souvrství 2:

Druhé souvrství bude oproti prvnímu doplněné o pečetící vrstvu. Toto souvrství vychází z předpokladu, že „hydroizolační vrstva nevykazuje sama o sobě vlastnosti dokonale těsné membrány“ a je třeba pronikání vlhkosti do nosné konstrukce zamezit aplikací pečetící vrstvy“. Tuto vrstvu však obvykle není nutné aplikovat na penetrační nátěr. Někteří výrobci však požadují aplikaci tohoto materiálu na penetrační nátěr (celkovou skladbu ve více vrstvách), proto je uvažován i v tomto případě pro experimentální analýzu. Pojízdnou (ochrannou) část budou tvořit opět lité asfalty. U tohoto experimentu však lze předpokládat, že nedojde k navýšení hydroizolačních účinků. Pečetící vrstva bude pravděpodobně plnit funkci „super ochrany“.



Skladba 2 je následující:

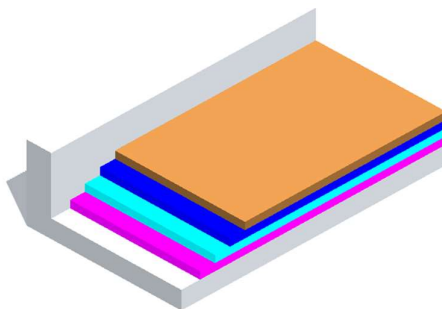
- obrusná vrstva: ACO 16+, tl. 50 mm
- postřik živičný
- spojovaný asfaltovou emulzí 0,5 kg/ m<sup>2</sup>
- ochranná (ložní) vrstva: MA 11 IV, tl. 35 mm
- izolační vrstva: elastomerní polyurea, tl. 5 mm

Primární vrstva:

- pečetící vrstva: 2 komponentní epoxidová penetrace
- penetrační nátěr (možné vynechání)

nebo:

- dvojnásobný impregnační nátěr (který má však jiné vlastnosti než pečetící vrstva)
- NK (železobeton)



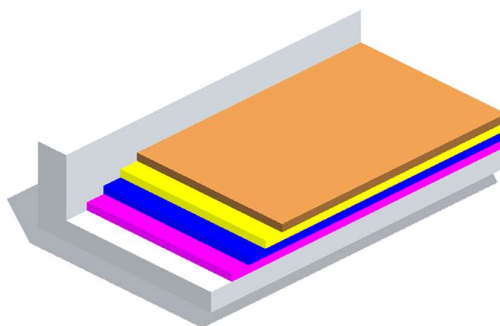
Obr. 108: Hydroizolační souvrství 2

### Hydroizolační souvrství 3:

Třetí souvrství je navrženo tak, aby byly využity předpokládané hydroizolační vlastnosti elastomerní polyurey. U této varianty se tedy pracuje s hypotézou „dokonalých izolačních vlastností elastomerní polyurey běžného složení, která však není schopna odolávat nadměrně vysokým teplotám při pokládce litých asfaltů“. Z tohoto důvodu bude na hydroizolaci aplikován adhezni (ochranný) nátěr v tenké vrstvě, který je přímo určen pod lité asfalty. Jedná se o extra přidanou vrstvu nezávisle na výrobci.

Skladba 3 je následující:

- obrusná vrstva: ACO 16+, tl. 50 mm
- postřik živičný
- spojovaný asfaltovou emulzí 0,5 kg/ m<sup>2</sup>
- ochranná (ložní) vrstva: MA 11 IV, tl. 35 mm
- adhezni vrstva pod lité asfalty (ochranná): syntetická pryskyřice
- izolační vrstva: elastomerní polyurea, tl. 5 mm
- penetrační nátěr
- NK (železobeton)



Obr. 109: Hydroizolační souvrství 3

### Hydroizolační souvrství 4:

Čtvrté souvrství je v podstatě kombinací všech předchozích a lze o něm hovořit jako o „vysoce ochranném“, neboť v tomto případě je hydroizolační vrstva zespodu chráněna pečetící vrstvou a



shora adhezním nátěrem před vysokou teplotou při pokládce litých asfaltů. Důvod aplikace penetrační vrstvy je stejný jako u skladby HS2.

Skladba 4 je následující:

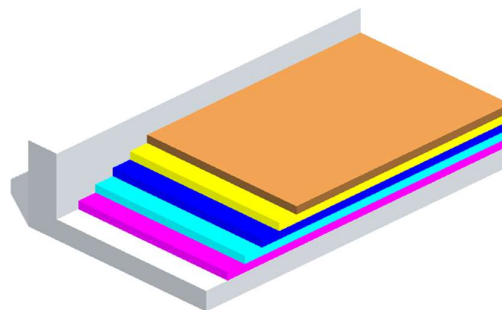
- obrusná vrstva: ACO 16+, tl. 50 mm
- postřik živičný spojovaný asfaltovou emulzí 0,5 kg/ m<sup>2</sup>
- ochranná (ložní) vrstva: MA 11 IV, tl. 35 mm
- adhezní vrstva pod lité asfalty (ochranná): syntetická pryskyřice
- izolační vrstva: elastomerní polyurea, tl. 5 mm

Primární vrstva:

- pečetící vrstva: 2 komponentní epoxidová penetrace
- penetrační nátěr (možné vynechat, viz. HS2)

nebo:

- dvojnásobný impregnační nátěr (který má však jiné vlastnosti než pečetící vrstva)
- NK (železobeton)



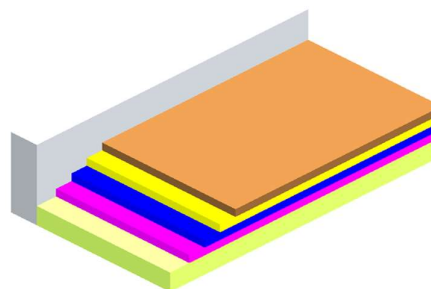
Obr. 110: Hydroizolační souvrství 4

#### Hydroizolační souvrství 5:

Návrh poslední izolační vrstvy byl vytvořen ve spolupráci s firmou Xypex - Nepak při rekonstrukci Masarykova mostu přes vodní elektrárnu v Kolíně v části C. Jedná se o použití materiálu Xypex Concentrate pro nosnou konstrukci, na kterou bude aplikována vrstva elastomerní polyurey. Tento návrh vznikl z požadavku na vytvoření extrémně náročného suchého prostředí vodní elektrárny, která se nachází pod úrovní mostovky Masarykova mostu. Z tohoto důvodu bylo navrženo takto „vysoce ochranné“ souvrství.

Skladba 5 je následující:

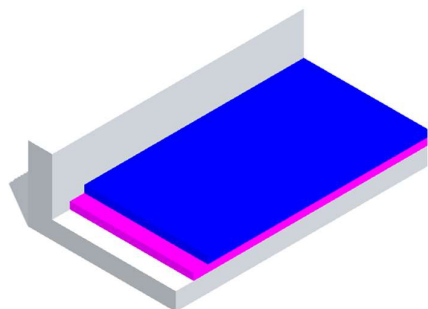
- obrusná vrstva: ACO 16+, tl. 50 mm
- postřik živičný spojovaný asfaltovou emulzí 0,5 kg/ m<sup>2</sup>
- ochranná (ložní) vrstva: MA 11 IV, tl. 35 mm
- adhezní vrstva pod lité asfalty: syntetická pryskyřice
- izolační vrstva: elastomerní polyurea, tl. 5 mm
- penetrační nátěr
- NK (železobeton) + Xypex Concentrate (kompozitní směs portlandského cementu s velmi jemným křemičitým pískem a aktivní chemickou bází Xypex Concentrate).



Obr. 111: Hydroizolační souvrství 5



Za poslední hydroizolační souvrství lze považovat aplikaci elastomerní polyurea pouze na penetrační nátěr - nejedná se tedy v zásadě o souvrství v pravém smyslu, neboť v tomto případě bude vrstva elastomerní polyurey přímo pojižděná. Pro účely této práce a jednoduchou orientaci bude označeno jako **Hydroizolační souvrství 6**.



Obr. 112: Hydroizolační souvrství 6

■ ŽB KONSTRUKCE ■ PENETRACE ■ PRIMÁRNÍ VRSTVA ■ IZOLAČNÍ VRSTVA  
■ ADHEZNÍ MŮSTEK ■ OCHRANNÁ VRSTVA + KRYT ■ ŽB + XYPEX

U výše uvedených souvrství 2 - 6 jsou ověřovány vlastnosti při zrychleném stárnutí za tepla, pouze u hydroizolačního souvrství 1 jsou ověřovány jeho vlastnosti jak při zrychleném stárnutí, tak z dlouhodobého pohledu. Hydroizolační souvrství 1 je laboratorně analyzováno již 2 roky. Pro tyto účely je simulováno běžné exteriérové prostředí s veškerými účinky, kterým může být souvrství za dobu své životnosti vystaveno. Sleduje se zejména odolnost vůči extrémnímu zatížení silovými účinky (dopravou - tlaky kol vozidel) i nesilovými (zejména teplotní zatížení). Tento experiment není vzhledem ke své dlouhodobé povaze ukončen (a také z důvodu probíhající certifikace), nicméně průběžné výsledky ukazují na vysokou odolnost materiálu (i s určitou materiálovou modifikací, jejíž výzkum stále probíhá, tudíž její složení není možné uvádět z důvodu ochrany údajů a dalších práv výrobce) jako hydroizolační membrány a na jeho výborné mechanické vlastnosti včetně schopnosti přenesení trhlin. Jedná se o experiment ve spolupráci s aplikátory v USA a Japonsku, kterého se autorka v USA účastnila. V návaznosti na provedené experimenty dle ČSN 73 6242: 2010 "Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací" a TKP 21 "Izolace proti vodě" splňuje toto hydroizolační souvrství veškeré požadavky a je možné ho aplikovat na mostech a pozemních komunikacích.

#### Stručný popis materiálů ze souvrství

**Penetrační vrstva:** plně postačující jsou pro tyto účely materiály na bázi acetonu. U některých výrobců je možné tuto vrstvu při aplikaci pečetiví vrstvy či kotevně impregnačního návrhu vynechat.

**Pečetiví vrstva:** dvoukomponentní epoxidová pryskyřice s příměsí umělých částí, ref. výrobek Sikagard 186





**Izolační vrstva:** elastomerní polyurea viz. samostatná předchozí kapitola

**Adhezní vrstva pod lité asfalty:** 1 komponentní vrstva na bázi rychle tvrdnoucí syntetické pryskyřice. Slouží k přípravě trvanlivého spojení mezi těsnící vrstvou a ochrannou vrstvou z litého asfaltu, ref. výrobek Sikalastic 823. Adhezní můstek je možné aplikovat i mezi primární a izolační vrstvou. Vzhledem k výborným adhezním vlastnostem elastomerní polyurey k tomu však nebylo přistoupeno.

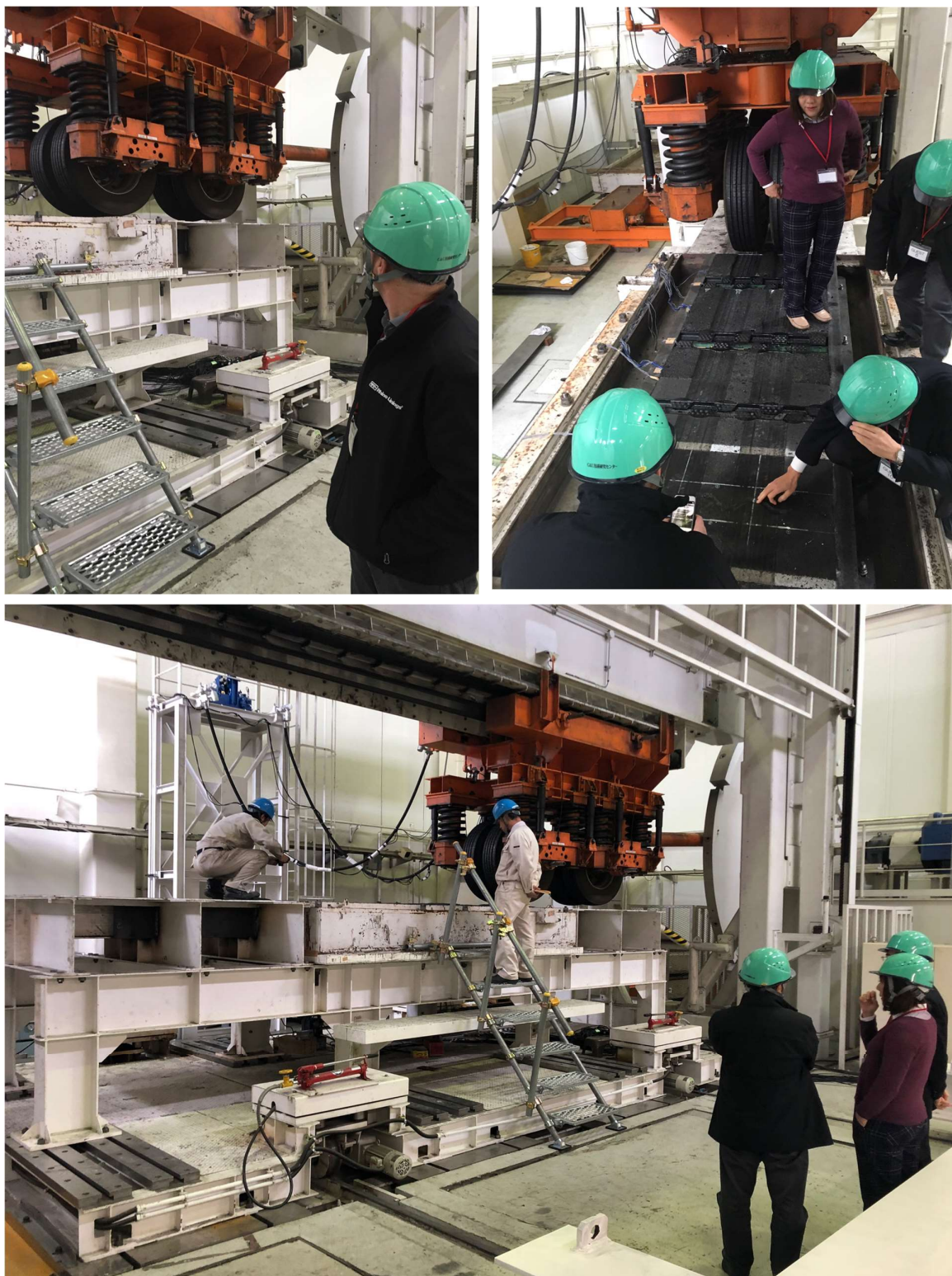
**Xypex Concentrate:** kompozitní směs portlandského cementu s velmi jemným křemičitým pískem a aktivní chemickou bází Xypex Concentrate, která v kapilárním systému betonu iniciuje růst krystalů na molekulární úrovni a trvale zaceluje transportní cesty pro kapalná média. Tím vytvářejí z běžného betonu trvale účinný systém, nepropustný pro tlakovou vodu, odolný naftě, olejům a jejich derivátům i řadě průmyslovým chemikáliím.

#### **Případové studie - aplikace elastomerní polyurey u mostů:**

- historický most v Rumburku (aplikace HS3)
- Masarykův most v Kolíně (v částech mostu a,b,d,e aplikace HS1, v části C aplikace HS5)
- historický obloukový most v Jeseníku (aplikace HS1)
- most v Chebu v ul. Osvobození (aplikace HS3)
- lávka v Jeseníku (pojízdná vrstva, aplikace penetrační vrstvy s elastomerní polyureou)
- lávka v Praze - Tróji (pojízdná vrstva, aplikace penetrační vrstvy s elastomerní polyureou)

#### **Závěr experimentu:**

V současné době probíhá vyhodnocení a zpracování výsledků experimentální analýzy všech navržených hydroizolačních souvrství ve smyslu certifikace a získání prohlášení o vlastnostech. Výsledky dlouhodobé analýzy hydroizolačního souvrství 1 nasvědčují skutečnosti, že toto souvrství je naprosto dostatečné pro požadavek na vytvoření hydroizolační membrány a je možné litý asfalt aplikovat přímo, neboť materiál dokáže odolávat vysokým teplotám (i přesto, že výrobní program materiálu byl původně stanoven na teplotu nižší). Dle výrobce je také možné odolnost vůči teplotě modifikovat přidáním různých přísad, které budou dodávány na objednávky dle typu aplikace. Představou je zároveň uvést na trh modifikovanou elastomerní polyureu s cílem jejího použití na mostech. Z tohoto pohledu se aplikace dalších ochranných vrstev jeví jako nadbytečná a neekonomická. Experimenty prokázaly možnost aplikace tohoto souvrství na mostech a pozemních komunikacích. Pro použití tohoto hydroizolačního souvrství je však nutné provést ještě další ověřující experimenty v TZÚS s různými vrstvami litých asfaltů, jelikož se jedná o velmi inovativní a netypické řešení. Z tohoto důvodu je pro jistotu u konkrétních aplikací na vybraných mostech navrženo HS3, které je s určitostí plně vyhovující a veškeré experimenty již u něj byly ukončeny. Jedná se o „bezpečnou“ variantu, která zajistí vytvoření dokonalé hydroizolační membrány VNK, chráněné proti účinku vysokých teplot asfaltu.



Obr. 113 - 115: Experiment odolnosti materiálu vůči tlaku kol, laboratoře Rhino Linings, San Diego, USA



### 7.3 ANALÝZA RIZIKOVÝCH FAKTORŮ APLIKACE POLYUREA V POROVNÁNÍ S DALŠÍMI TYPY IZOLACÍ

#### Rizikové faktory aplikace polyurea v navržených hydroizolačních souvrstvích:

U všech navržených souvrství je společným, nejvíce rizikovým faktorem technologické provedení vrstev a zejména elastomerní polyurey. Je nutné vytvořit celoplošnou ochranu před vodou (důsledně řešit prostupy izolační vrstvou) ve stanovené tloušťce a konzistenci směsi za dodržení technologických postupů aplikace. Návrh a provedení hydroizolace musejí být kombinovány s funkčním odvodněním mostu - vždy je nutné dodržet minimálně nutné podélné a příčné spády vozovky. Dále musí být proveden odvodňovací systém v podobě osazení odvodňovačů, drenáží, odvodnění izolace apod. dle rozpětí a konstrukčního řešení mostu. Problematické může být i zajištění aplikace navržených a experimentálně ověřovaných materiálů v souvrství, neboť během realizace často dochází k prosazování vlastních materiálů dodavatele, či pro něj lépe finančně dostupných.

Možná právě výše uvedené důvody jsou zdrojem předsudků při rozhodování o výběru izolačního systému. Většina poruch u polyuretanových stříkaných izolací byla v minulosti zapříčiněna lidským faktorem. Zdánlivě snadná technologie sváděla často k neodborným aplikacím, kdy docházelo ke špatnému poměru míchání složek či k nedodržení tlaku aplikace materiálu, resp. k aplikaci přístrojem, který není schopen vyvinout požadovaný tlak.

V určité fázi životnosti konstrukce mohou být problematické jedny z výhodných vlastností izolace, a to zejména přídržnost a pevnost v tahu. Při demolici nebo při některých opravách, např. při rekonstrukci či statickém zesílení klenby nebo mostu, na které je polyurea aplikována, je její odstranění velmi náročné.

Za nejvíce rizikové lze považovat **hydroizolační souvrství 1**, u kterého není navržena žádná pojistná vrstva, na druhou stranu by mělo být toto opatření na základě aktuálních výsledků průzkumů dostatečné. V návaznosti na v úvodu uvedené důvody je toto souvrství nejvíce zatíženo rizikem chybné aplikační technologie. Experimentální analýza prokázala odolnost materiálu vůči vysokým teplotám (materiál byl ověřován i s určitou modifikací v jeho složení), nicméně bude i nadále analyzován na odolnost vůči přímému vystavení pokládky litých asfaltů, kde bude kladen důraz na zjištění dlouhodobých účinků (zda nedochází ke změnám ve struktuře materiálu apod.)

Neméně rizikové je i použití pečetícího materiálu u **hydroizolačního souvrství 2 a 4**.

S odkazem na prováděné diagnostiky mostů je nutné upozornit na četný výskyt poruch pečetících vrstev v současných podmínkách staveb mostů. [28,34,103,105,106,107,108]

#### Rizikové faktory aplikace pečetící vrstvy v hydroizolačním systému

Poruchy pečetících vrstev byly sledovány u několika mostů v ČR. Častou příčinou poruch byly extrémní teploty, které v posledních letech v letních měsících panovaly. Porušené pečetící vrstvy pochopitelně úzce souvisejí s poruchou celého hydroizolačního souvrství, nicméně tato část je primárně zaměřena na problematiku pečetících vrstev, které mohou mít pro souvrství fatální následky.



Dle výsledků průzkumů bylo nejrizikovější období v době ekonomické krize r. 2008, kdy byla v epoxidu zvýšena dávka ředidel až na hranici, kdy je ještě možné epoxid označit jako bezropouštědlový (11% extrahovatelných podílů). Kritická situace nastala přibližně o dva roky později v období extrémních letních teplot, kdy teploty opakovaně dosahovaly tropických hodnot. Poruchy na diagnostikovaných mostech vykazovaly stejný charakter a stejné příčiny - primárně vlhkostní průsaky a po odkrytí vozovkových vrstev bylo zjištěno nadzvedávání izolace.

### **Rizikové faktory aplikace asfaltových pásů**

Jak již bylo řečeno, asfaltové pásy patří mezi nejvíce používané izolace u nás, a proto byly zvoleny pro srovnání rizik při aplikaci vůči polyurea stříkaným izolacím.

Z osobních zkušeností autorky získaných na základě diagnostiky mnoha mostních konstrukcí lze považovat za největší riziko perforaci hydroizolace během realizace, což opět poukazuje na technologickou nekázeň. Mezi ní pochopitelně patří problematika zajištění vodotěsnosti prováděných spojů jednotlivých pásů i vrstev. Právě spoje pásů jsou pravděpodobně největší nevýhodou, neboť jsou nejčastějším zdrojem poruch. Mezi další známé nevýhody patří poměrně nízká tažnost a odolnost vůči mechanickému poškození oproti polyurea izolacím.

## **7.4 PŘÍPADOVÉ STUDIE - ANALÝZA PORUCH HYDROIZOLAČNÍCH SOUVRSTVÍ**

Případové studie se zabývají analýzou hydroizolačních systémů u diagnostikovaných mostů, která předcházela následné rekonstrukci. Cílem analýz bylo odhalit společné jmenovatele poruch, týkající se již samotného návrhu izolačního souvrství či technologie provádění. Sběr dat byl proveden v rámci diagnostiky mostů, která byla podkladem pro zpracování projektových dokumentací autorkou disertační práce.

### **7.4.1 DIAGNOSTIKA - PROVEDENÉ PRŮZKUMY HYDROIZOLAČNÍCH SOUVRSTVÍ:**

[108,109,110,111,136,137]

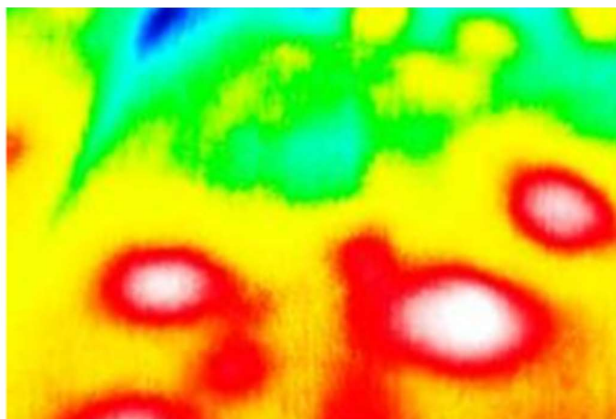
U všech níže uvedených mostních konstrukcí probíhala diagnostika pečeticích a izolačních vrstev v letních měsících v letech 2016 - 2018. Na základě podrobného vizuálního hodnocení byla vybrána nejvíce poškozená místa, která byla dále analyzována pomocí metody akustického trasování a termovize. U každého mostu bylo provedeno celkem 7 měření. Měřilo se v období mimo deště v ranních hodinách za polojasna/ jasna.

**Metoda akustického trasování** je nejčastější a nejběžnější metoda zjišťování dutých nebo odtržených míst v konstrukci. Jedná se o velmi jednoduchou metodu nenáročnou na vybavení. Pro tuto zkoušku se používá ocelová kulička, která je uchycena na tyči. Dobře může ale posloužit i obyčejné kladívko. Princip spočívá v tažení ocelové koule po povrchu mostovky. Na základě akustické odezvy od tažené kuličky, která může být zvonivá, dunivá, a nebo křaplavá, se identifikují dutá nebo



odtržená místa v konstrukci. Výhodou této metody je jednoduché zařízení a relativně spolehlivé stanovení místa poruch. Nevýhodou je nutnost projít celý objekt a na stavbě nesmí být velký hluk, aby bylo možno identifikovat odezvu.

**Termografie (termovize)** je další z nedestruktivních metod, při které je měřena povrchová teplota mostu pomocí infračervené kamery. Používá se především při zjišťování tepelných mostů u obvodových konstrukcí budov. Výhodou u mostních komunikací proti budovám je především přibližně stejná emisivita povrchu a celá plocha rovnoměrně oteplována sluncem. V podmínkách pozemních komunikací se s touto metodou setkáváme až v poslední době. Pro diagnostiku mostů byla použita termokamera Fluke Ti20. Výsledkem měření jsou termogramy mostovek, na kterých jsou viditelné poruchy.



Obr. 116: Termokamera, zdroj – technický list výrobce, Obr. 117: Termografický snímek hydroizolačního souvrství mostu

#### Jádrové vrtání:

Pro odběr vzorků pro stanovení skladby mostovky, množství solí, vlhkosti a třídy betonu byly u níže uvedených mostů provedeny jádrové vývrty o průměru 200 - 300 mm dle typu konstrukce.

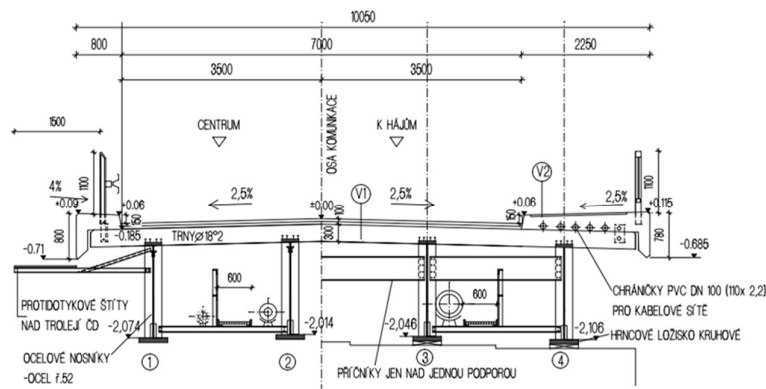


## 7.4.2 PŘÍPADVÉ STUDIE HYDROIZOLAČNÍCH SYSTÉMŮ VYBRANÝCH MOSTŮ:

### 7.4.2.1 Most ul. Osvobození, Cheb



#### PŘÍČNÝ ŘEZ- MOST, STÁVAJÍCÍ STAV



#### Ⓥ1 STÁVAJÍCÍ SKLADBA NA MOSTĚ

ASFALTOBETON II P KN MS .....	50
LITÝ ASFALT .....	45
IZOLAČNÍ PÁS BARPLAST .....	5
ADHEZNÍ NÁTĚR PUM/ B .....	-
PENETRAČNÍ NÁTĚR .....	-
SPRAŽENÁ DESKA B 400 .....	300
<b>CELKEM</b> .....	<b>400</b>

#### Ⓥ2 STÁVAJÍCÍ SKLADBA NA CHODNÍKU

LITÝ ASFALT .....	30
PENETRAČNÍ NÁTĚR .....	-
BETON B 330 PROVZDUŠ .....	230
OCHRAA IZOLACE FOALBIT .....	5

Obr. 118 – 119: Most v Chebu: stávající stav mostu, Obr. 120: Zjištěné výsledky stávající skladby na mostě

#### Popis mostu a jeho poruch:

Silniční most převádí komunikaci přes trať ČD v ulici Osvobození, katastrální území Cheb. Jedná se o jednopolový most, který byl postaven v 70. letech. Spodní stavba je tvořena masivními tvarově ustoupenými opěrami. Nosnou konstrukci tvoří žb deska, která je sprážená s ocelovými nosníky. V prostoru mezi ocelovými I nosníky jsou umístěny obslužné lávky a chráničky pro STL plyn, vodovod a kanalizaci. V římsce, která je součástí chodníku jsou umístěny chráničky PVC pro kabelové sítě. Vozovka je živičná. Most je celkově v dobrém stavu, je pouze nutné provedení opravy mostního svršku. Na první pohled je velkým problémem u mostu odvodnění a vlhkost. S ohledem na četné



průsaky vody je izolační souvrství velmi poškozené na většině plochy. Lze usuzovat na výrazné poškození izolace v místech mostních závěrů, u kterých je značně porušena těsnící zálivka.

Skladba vozovky na snímku byla zjištěna pomocí jádrového vývrtu.

#### **7.4.2.2 Most u střelnice, Bílovec**



*Obr. 121 - 122: Most v Bílovci: stávající stav mostu*

#### **Popis mostu a jeho poruch:**

Mostní objekt převádí komunikaci přes potok Bílovka v ulici Opavská u parku střelnice, katastrální území Bílovec. Jedná se o jednoplošný most. Spodní stavba je tvořena kamennými opěrami. Most byl proveden z ocelových profilů, na kterých byla provedena žb deska, nosná konstrukce je provedena s náběhem. Na základě jádrových vývrtů bylo zjištěno, že na NK se nachází izolace z asfaltových pásů. Povrch vozovky je živičný. U nosné konstrukce se projevují známky koroze a opotřebení časem. Nosná konstrukce mostu je v současné době ve špatném technickém stavu. Na mnoha místech dochází k zatékání a hromadění vody v mostním tělese, neboť konstrukce neumožňuje spolehlivé odtékání vody.



### 7.4.2.3 Estakády na Letné



Obr. 123 -124: Estakády na Letné - stávající stav, estakáda č.4



Obr. 125 - 127: Diagnostika estakád - jádrové vrtání

#### Popis estakád a jejich poruch:

Estakády se nacházejí v letenském svahu v Praze. Jedná se celkem o čtyři mostní objekty, překlenující komunikaci v letenském svahu na Obr. 123 - 124. Spodní stavba vícepolového mostu je tvořena žb pilíři, na kterých je uložena žb nosná konstrukce mostu tvořena polorámovou konstrukcí. U mostu 4 bylo provedeno celkem 6 žb pilířů s rozšířenou hlavicí, podpírajících nosnou konstrukci. Na základě jádrových vývrtů bylo zjištěno, že na nosné konstrukci se nachází izolace z asfaltových pásů. Vozovka má pouze tenkou živičnou vrstvu. Mostovka je nejvíce zatížena stékajícími nánosy zeminy ze svahů od přívalových dešťů. Na mnoha místech dochází k pronikání vody do nosné konstrukce. Mostovka je navíc vystavena vysokým teplotám na svahu. Kombinací nánosů ze svahu a vysokých teplot dochází k „vlnění“ asfaltové vrstvy. Na mnoha místech se projevuje prorůstání kořenů.





#### 7.4.2.4 Lávka pro pěší - stadion v Karlových Varech



Obr. 128 -129: Lávka na stadionu v Karlových Varech - stávající stav lávky

##### Popis lávky a jejích poruch:

Lávka je součástí stadionu v Karlových Varech, Tuhnice. Jejím účelem je zajištění přemostění mezi tribunami stadionu nad jedním z hlavních vstupů a dále nad tzv. „bránou borců“. Lávka byla provedena z typických předpjatých prefabrikovaných nosníků KA - 61, ve kterých jsou vyvrtány odvodňovací otvory. Nosníky jsou uloženy na železobetonové úložné prahy na ložiska. Opěry jsou masivní železobetonové monolitické. Na základě jádrových vývrtů bylo zjištěno, že na NK se nachází izolace z asfaltových pásů. Povrch vozovky byl proveden jako živičný. Problematické řešení KA nosníků a jejich odvodňovačů umožňuje zatékání a hromadění vody v mostním tělese.

#### 7.4.2.5. Most v ul. Bezručova, Děčín



Obr. 130 – 131: Most v ul. Bezručova – stávající stav

##### Popis mostu a jeho poruch:

Most se nachází v ul. Bezručova v Děčíně - Podmokly a převádí komunikaci přes Jílovský potok. Jedná se o jednopoldový most. Spodní stavba je tvořena kamennými opěrami. Mostní nosná



konstrukce je provedená jako železobetonová deska spřažená s ocelovými nosníky. Vyztužení a třída použitého betonu není známa. Kryt vozovky je živičný, izolace byla provedena pomocí asfaltových pásů. V současné době se u nosné konstrukce projevují známky pokročilé koroze viditelných ocelových částí a značné degradace betonu. Na řadě míst dochází k progresivnímu zatékání do konstrukce a k pravděpodobnému hromadění vody v mostním tělese. Pro ověření stávajícího stavu mostu byly provedeny jádrové vývrty a kopaná sonda z chodníku.

#### 7.4.2.6 Hodnocení příčin poruch hydroizolačních systémů

Poruchy analyzovaných hydroizolačních systémů uvedených mostů mají víceméně obdobný charakter. Kombinací více průzkumných metod byla identifikována místa s výskytem poruch, které byly následně analyzovány. Níže jsou uvedeny klíčové body, které byly shledány během diagnostiky.

- Primární příčina poruch v těchto případech začíná u způsobu řešení celé konstrukce, která mnohdy hromadění vody v tělese usnadňuje. Problematické je zejména použití mostních KA nosníků, které téměř neumožňují odvod vody či provedení ocelových uzavřených nosníků s nadbetonovanou deskou, kdy nastává možnost vysychání jen jedním směrem - výparem a ve spodní části dochází k hromadění vody.

- U všech mostů bylo velmi problematické jejich odvodnění. U většiny z nich sice byl dodržen požadovaný příčný i podélný spád vozovky, ale na mostech buď chyběly odvodňovače, případně došlo k jejich totálnímu zanešení a ucpání (most v Chebu, lávka v Karlových Varech). Díky těmto faktorům dochází k hromadění vody zejména v oblasti obrubníků a např. v místech nerovnosti vozovky. Následně se neodvedená voda dostává trhlinami a netěsnými spárami k hydroizolační vrstvě, která je na mnoha místech u všech diagnostikovaných mostů netěsná.

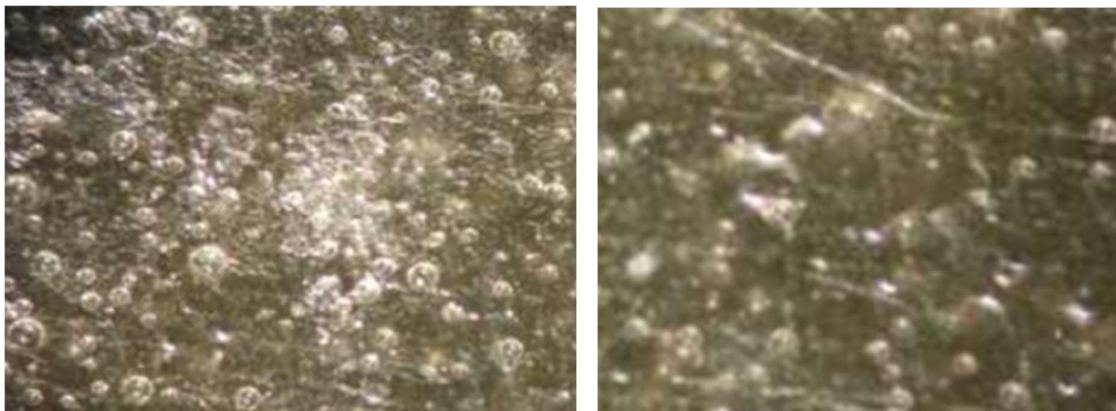
- Jádrovými vývrty bylo zjištěno, že u diagnostikovaných mostů byly provedeny asfaltové pásy, u mostu v Chebu izolace typu barplast. Trasovací metoda odhalila u všech konstrukcí netěsnosti v hydroizolačních vrstvách, zejména ve spojích. Na mnoha místech dochází dokonce k nadzvedávání izolace či k jejímu odchlípnutí. U mostu v Bílovci lokálně nebyla pravděpodobně izolace položena vůbec a v krajích mostu v oblasti říms dochází k jejímu úbytku.

- Problematická situace nastává při určitém řešení nosné konstrukce mostu - pokud jsou přítomny kanálky v desce. Izolační pásy se natavují na pečetící vrstvu celoplošně. Při kontaktu plamene s epoxidem dojde k jeho výraznému změknutí. Pokud nejsou přítomny kanálky v betonu (závisí nejen na složení betonu, ale též na tloušťce desky) nenastává žádná negativní reakce, pouze dojde k natavení pásů a jejich přilepení na pečetící vrstvu. Pokud jsou v betonu zmíněné kanálky, dojde vlivem vysoké teploty ke zvětšení objemu vzduchu i vodní páry v kanálcích a k proražení epoxidové vrstvy a úniku vzduchu z kanálků. Takto otevřené póry se již neuzavřou a dávají možnost vodní páře difundovat do rozhraní pás – pečetící vrstva. Pečetící vrstva přestává takto plnit funkci druhé izolační vrstvy a parozábrany.



- Nejvíce poruch vykazoval spoj mezi pečetící vrstvou a pásem. Během průzkumů bylo pozorováno často úplné porušení tohoto spoje, který je elementární pro zajištění funkčnosti celého hydroizolačního systému. Vlivem rozpouštědel uzavřených v epoxidu dochází k mírnému snížení pevnosti spoje díky naleptání asfaltu pásů. To výrazně urychluje vysoká vnější teplota. Při běžných teplotách (20°C byla nejnižší naměřená hodnota v úrovni cca 50% výchozí pevnosti). Rozpouštědla odcházejí přes pás a pevnost se navrácí do původních hodnot. Při vysokých teplotách je předpoklad výraznějšího snížení pevnosti spoje, ale také rychlejšího odparu rozpouštědel do vnějšího prostředí. Jestliže při 20°C je dosažena minimální pevnost spoje za cca 6 týdnů, očekává se minimální pevnost spoje při teplotách mostovky kolem 50°C přibližně za dobu poloviční nebo až třetinovou.

- Řadu poruch vykazovala především samotná pečetící vrstva. Po odkrytí asfaltových pásů (které šlo na několika vybraných místech bez většího odporu oddělit) byla pečetící vrstva povrchově čistá, ale výrazně lepkavá. Na povrchu pečetící vrstvy byly patrné „propálené“ puklinky.



Obr. 132 - 133: Stávající stav pečetící vrstvy na mostech

#### 7.4.2.7 Obecná problematika hydroizolací ve vztahu ke spolehlivosti hydroizolačního souvrství:

V současné době je obecně možné identifikovat řadu poruch hydroizolačních souvrství od výrobních přes běžnou degradaci materiálu až po poruchy plynoucí z neodborného provádění konstrukčních detailů a nevhodné rekonstrukce původních vrstev.

#### Povlakové (asfaltové) hydroizolace:

Výrobní poruchy:

Základním principem výrobních poruch je současná všeobecná snaha o snížení nákladů výroby na úkor životnosti. Jedná se zejména o:

- snižování tloušťky hydroizolačního materiálu
- zrychlování výroby v kombinaci se snižováním teploty
- zvyšování podílu plnidel na úkor dalších komponentů.



Dalšími významnými skupinami poruch asfaltových pásů jsou:

- prováděcí (technologické)
- statické (vycházející z chybného mechanického kotvení apod.).

Zásadní roli hraje provádění hydroizolačního povlaku v detailech. Jedná se zejména o ukončování u vzniklých hran, změnách tvaru a provádění v oblasti vpustí či odvodňovačů. Tato problematika je pochopitelně velmi rozsáhlá i u pozemních staveb, kde často vznikají chyby při ukončení na závětrných lištách, atikách a dalších tvarových změnách, napojení na prostupy a vpustě či napojení na dveře a výplně otvorů. V posledních letech je obecně u hydroizolačních systémů snaha překonat problémy spojené se stárnutím, odolností vůči extrémním teplotám, pevností a průtažností materiálů, objemovou stabilitou, nasákavostí, vodotěsností a zpracovatelností zlepšováním vlastností.

#### **Stěrky, nástřiky, nátěry:**

V průběhu vývoje izolací se výrazně měnil názor na rizikové technologie a materiály. Za posledních dvacet let lze vyjmenovat řadu technických řešení hydroizolací, které se časem samy zdiskreditovaly. Tyto pokusy byly časté zejména v devadesátých letech, kdy ještě řada realizačních firem nedisponovala dostatečnými zkušenostmi. Během tohoto procesu vývoje byly nejvíce rizikové technologie stěrkových hydroizolací a stříkaných. Dříve často docházelo k poruchám typu bahenního praskání „krokodýlingu“, což je obecně považováno za signál velmi pokročilých degradačních procesů. Mnohdy docházelo k aplikaci (např. přestříkání) nové vrstvy na původní degradovanou. Nová pak vytvořila kompaktní fóliovou vrstvu s minimální pevností, která se postupně oddělila od původní a došlo k jejímu potrhání.

V současné době však technologie výroby a systém kvalifikace aplikátorů dospěl do fáze, kdy je možné vytvořit dlouhodobě funkční systémy, často disponující vlastnostmi, které v mnoha ohledech předčí převážně používané povlakové izolace.

#### **7.4.2.8 Zhodnocení analýzy vybraných hydroizolačních souvrství**

V rámci provedené analýzy byla hodnocena převážně souvrství, jejichž součástí je pečetící vrstva (epoxid) a hydroizolační vrstva tvořená asfaltovými pásy. Pomocí destruktivních i nedestruktivních metod byly zjištěny především zásadní poruchy pečetící vrstvy a spoju mezi pečetící vrstvou a asfaltovými pásy. Tato analýza potvrdila nejen problematiku technologického řešení asfaltových pásů, ale především pečetících vrstev a jejich složení. Jedná se o situaci vyvolanou v první řadě změnou chemického složení pečetících vrstev ve spojení s negativním klimatickým působením, které v posledních letech vyvolalo u řady mostů nadzvedávání izolací a jejich oddělování od pečetících vrstev. V současné době jsou součástí betonové směsi v podstatě každé nosné konstrukce ztekucující a provzdušňující přísady. Provzdušňující přísady tvoří malé uzavřené póry,



kteřé přerušují kapiláry a mírně zvyšují vodotěsnost betonu – z hlediska poruch nemají výrazný negativní vliv. Problémem jsou některé přísady na bázi polykarboxyleterů, které výrazně snižují tixotropii betonových směsí. V případě použití těchto přísad dochází k tomu, že dlouhou dobu po zahlazení povrchu betonu odchází z jeho povrchu větší bublinky vzduchu. Tím uvnitř betonu zůstávají otevřené kanálky s hloubkou až 2 cm. Kanálky mají malý průměr, který se pečetící vrstvou nevyplní. V návaznosti na tyto změny v technologii betonových směsí, pečetících vrstev i klimatických změn se podstatným způsobem mění úloha zejména pečetící vrstvy v hydroizolačním souvrství, kdy i přes tvrzení výrobců přestává plnit funkci „pojistné“ izolační vrstvy. Z tohoto pohledu by novodobé materiály měly v ideálním případě plnit funkci samostatné dokonalé hydroizolační membrány. Tato fakta jsou ověřována i u elastomerní polyurey.

Vzhledem k výše uvedeným alarmujícím faktům, týkajících se používání povlakových izolací s pečetícími vrstvami, bylo přistoupeno k podrobnější analýze navržených hydroizolačních souvrství, jejichž hlavní izolační membránu tvoří elastomerní polyurea. Byly provedeny experimentální aplikace, které jsou popsány v následující kapitole. [65,66,91,108,109,110,111,137]



## **8 APLIKACE HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU ELASTOMERNÍ POLYUREY - PŘÍPADOVÉ STUDIE (PRŮZKUMY, DIAGNOSTIKA PORUCH, ODBĚR VZORKŮ)**

V současné době jsou kladeny čím dál větší požadavky na hydroizolační materiály. Zásadní rozdíl je, že hydroizolace střechy jsou obvykle přístupné, zatímco spodní stavba či hydroizolace mostu nikoliv a jejich oprava je finančně mnohonásobně náročnější. Z toho vyplývá, že návrh konkrétního hydroizolačního řešení vyžaduje přípravu a znalosti o konkrétní stavbě. Laboratorně ověřené výsledky prokazují výborné hydroizolační a mechanické vlastnosti elastomerní polyurey jako hydroizolačního materiálu. Rozhodujícím a zároveň nejvíce rizikovým faktorem kvality je pak realizace.

Z důvodu ověření vlastností byl tento nový materiál aplikován na několika stavbách. Vlastnosti aplikovaného hydroizolačního materiálu jsou experimentálně ověřovány např. u lávky v Praze 8 (hydroizolace nosné konstrukce), na kaskádách jižního svahu v Praze - Troji (hydroizolační vrstva nádrží s vodou), v objektech historické zemědělské usedlosti v Horkách nad Jizerou (hydroizolace spodní stavby) a na obloukovém mostu v Jeseníku (hydroizolace mostovky). Mezi významné stavby, kde byl či bude materiál aplikován jako hydroizolační vrstva, patří historický most ev. č. 16 v Rumburku (hydroizolace nosné konstrukce a vyloženého chodníku), Masarykův most v Kolíně (hydroizolace NK pětipolí mostu včetně části vodní elektrárny) a vybraná část střech Anežského kláštera (hydroizolace části plochých střech). Součástí této kapitoly jsou případové studie těchto realizací.

Cílem analýzy aplikace je především ověření fyzikálních vlastností materiálu, a to zejména jeho funkční způsobilosti při vystavení externím podmínkám v čase. U materiálu je sledovaná přilnavost k podkladu, stálost jeho aplikované tloušťky, odolnost vůči korozi, chemikáliím, mechanickým a dalším účinkům, kterým bude hydroizolační vrstva po aplikaci vystavena. Analyzována bude jeho hydroizolační schopnost v reálných podmínkách. Ve všech případech se jedná o kombinaci více hydroizolačních opatření (a to přímých a nepřímých). Před vlastní aplikací materiálu bylo u konkrétních staveb, uvedených v případových studiích, nutné posoudit vhodnost tohoto řešení provedením podrobných stavebně technických průzkumů.

### **Aplikace materiálu elastomerní polyurey jako hydroizolační vrstvy u vybraných mostů:**

Provádění hydroizolací asfaltových vozovek u mostů je mnohdy náročným úkolem vzhledem k požadavkům, které jsou na ně kladeny. Na rozdíl od pozemních staveb, kdy je především zásadním



bodem vytvoření vodotěsné vrstvy s určitou mechanickou odolností a životností, u mostů jsou tyto požadavky mnohonásobně náročnější, jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole.

Přibližně z roku 1802 pocházejí první doložitelné informace o provedení asfaltové úpravy na mostě. Jednalo se o asfaltickou horninu, která se používala jak na úpravu povrchu vozovky, tak na ochranu nosné konstrukce. Do této doby se často používaly tradiční hydroizolační metody v podobě jílového těsnění apod. První hydroizolace v dnešním smyly se začaly provádět až po roce 1960 - asfaltové lepenky ve 2 - 3 vrstvách kladené na betonovou mostovku a navzájem spojené horkým asfaltem. V průběhu let 1987 - 88 se ověřovaly vlastnosti prvních modifikovaných pásů, které byly postupně inovovány a jsou nejvíce používány dodnes. [8,106,107,108] Mezi další hydroizolační systémy patří asfaltový mastix, polymetylmakryláty a v neposlední řadě polyuretany, které si své místo na poli mostních hydroizolací teprve získávají (viz. předchozí kapitola). V případě analyzované elastomerní polyurey se jedná o vůbec první aplikace na mostech (nejen) v ČR. Jde tedy o velmi moderní technologii.

Cílem práce je ověřit, zda jsou tyto materiály skutečně vhodné, a to nejen pro mostní inženýrství. V předchozí kapitole byla nastíněna problematika návrhu hydroizolačních souvrství dle TP (Technických podmínek), která jsou ověřována v reálných podmínkách na mostech. Na základě laboratorní analýzy se jako nejvýhodnější jeví použití skladby hydroizolačního souvrství 1 (dále jen „HS1“) z pohledu materiálových vlastností, a proto bude aplikována na několika vybraných mostech. Hydroizolační souvrství (HS5) – viz. předchozí kapitola, bude aplikováno u Masarykova mostu v Kolíně, kde jsou kladeny extrémní požadavky na vodotěsnost. Na analyzované lávce je aplikováno pouze HS6, které je pro konstrukce tohoto typu a účelu naprosto postačující.

### **Aplikace elastomerní polyurey jako hydroizolační vrstvy u historických objektů**

V dalších kapitolách práce bude pozornost věnována možnosti použití experimentálně analyzovaného materiálu u historických objektů. Vzhledem k tradičnímu materiálovému řešení těchto objektů může být použití moderní technologie problematické a v některých případech zcela nemožné. Materiál proto bude u historických staveb aplikován předně na místa, kde nahradí nevhodné nebo již nefunkční „moderní“ hydroizolační řešení provedené v nedávné době. I v tomto případě bude přínosné ověřit možnosti použití řešeného materiálu.



## **8.1 REKONSTRUKCE HISTORICKÉHO MOSTU V SEVERNÍCH ČECHÁCH**

### **8.1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA MOSTU:**

Řešený objekt leží v nejsevernější části České republiky, v okrese Děčín. Most převádí komunikaci přes řeku Mandavu. Byl postaven v roce 1870. Není památkově chráněn, ale má významnou historickou hodnotu pro město Rumburk. Stávající most je kamenný se čtyřmi oblouky. Nosnou konstrukci tvoří klenby opatřené vrstvou torkretu. Po obou stranách byl most v 60. letech rozšířen vyloženými chodníky. Opěry a mezilehlé podpěry jsou masivní plné, provedené z pískovcových kvádrů.



*Obr. 134 - 135: Most v Rumburku - historické snímky mostu, zdroj archiv města Rumburk*

### **8.1.2 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM**

#### **ANALÝZA DEGRADAČNÍCH VLIVŮ [107,110,112]**

##### **Působení vnějších vlivů:**

V průběhu užívání byla mostní konstrukce namáhána různými vlivy vnějšího zatížení, která byla navíc ovlivněna nedodržením či přeceněním funkčních schopností konstrukce nebo postupnými změnami vlastností použitých materiálů. Zejména účinkům vlhkosti je permanentně vystavena základová konstrukce. Cyklickým změnám jsou vystaveny také klenby mostu. Torkretová vrstva mostu musí odolávat působení povětrnostních vlivů a zmrazovacím cyklům, což narušuje strukturu materiálu a dochází tak k jeho degradaci. Hlavní příčinou vlhkosti mostu je prosakování srážkové vody.

##### **Vliv vlastností zabudovaných materiálů:**

Přestože byla nosná konstrukce mostu postavena z kamenných kvádrů, došlo k lokálnímu doplnění zdiva u některých pilířů a kleneb jiným materiálem, např. betonem. Na celé ploše mostu byla aplikována vrstva torkretu, avšak na mnoha místech je nyní porušená trhlinami, což umožňuje lokální zatékání srážkové vody až k nosné konstrukci.

##### **PROVEDENÉ PRŮZKUMY:**

#### **8.1.2.1 Vizualní průzkum, fotodokumentace - předběžné průzkumy a stanovení úrovně degradace**

Na základě vizuálních prohlídek byly stanoveny hlavní poruchy u jednotlivých částí mostu:



**Degradace spodní stavby a NK:**

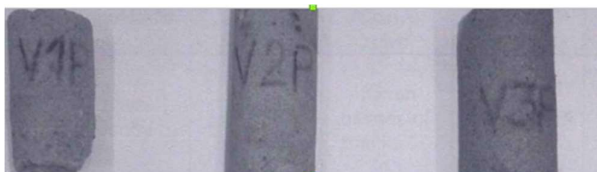
- odlupování torkretové vrstvy, výskyt výluh a inkrust, křídla porostlá náletovou vegetací, na mostě nejsou osazeny odvodňovače

**Degradace vozovky, chodníků, říms:**

- porušení chodníků, na kterém se objevují výrazné trhliny s výluhy, lokálně inkrusty  
- vozovka je rozrušena četnými trhlinami a je na ní patrné množství vysprávek a nerovností

**8.1.2.2 Diagnostika zdiva**

Zkoušky zdiva původní části nosné konstrukce byly provedeny pro získání pevnostních charakteristik zdiva klenby s kamenným zdivem, provedeného z kvádrů. Místa odběru byla zvolena rovnoměrně po ploše mostu. Jejich rozmístění je patrné na *Obr. 136*.



*Obr. 136: Místa odběru vzorků,  
Obr. 137: Odebrané vzorky z nosné konstrukce  
pro laboratorní analýzu*

**Destruktivní zkoušky pevnosti kamene v tlaku s výsledky:**

Zkoušení pevnosti přírodního kamene v tlaku je popsáno normou ČSN EN 1926 (721142) „Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení pevnosti v prostém tlaku“. Pomocí chlazeného jádrového vrtáku byly získány jádrové vývrty - válcová zkušební tělesa o průměru 50mm. Celkem byly odebrány tři vzorky (dva z vrcholu jednotlivých kleneb přibližně uprostřed rozpětí vozovky) a tři vzorky z vrcholu pilířů.

Rekapitulace výsledků zkoušek pevnosti v tlaku kamene klenby a pilířů je v *Tab. 15* a *Tab. 16*.

Č. zkušebního vzorku	Rozměry v mm		Tlačná plocha	Maximální zatižení	Pevnost kamene
	průměr	výška	A (mm <sup>2</sup> )	při porušení (N)	(N/mm <sup>2</sup> )
V1P	50	50	1963	25500	13
V2P	50	50	1963	26100	13,3
V3P	50	50	1963	19000	9,7
<b>PRŮMĚR: 12 MPa</b>					



Č. zkušebního vzorku	Rozměry v mm		Tlačná plocha	Maximální zatížení	Pevnost kamene
	průměr	výška	A (mm <sup>2</sup> )	při porušení (N)	(N/mm <sup>2</sup> )
V1K	50	50	1963	23500	<b>12</b>
V2K	50	50	1963	22500	<b>11,5</b>
V3k	50	50	1963	23400	<b>11,9</b>
<b>PRŮMĚR: 11,9 MPa</b>					

Tab. 15 a 16: Výsledky destruktivních zkoušek pevnosti v tlaku kamene (březen 2017)

### Destruktivní zkoušky pevnosti v tlaku betonu vyložení chodníku s výsledky

Před vlastním jádrovým vrtáním byla na konstrukci zvolena vhodná místa odběru v návaznosti na konstrukční důsledky dle ČSN EN 12390-3 „Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles“. Rekapitulace výsledků zkoušek je v Tab. 17.

Č. zkušebního vzorku	Rozměry v mm		Tlačná plocha	Způsob porušení	Objemová hmotnost	Maximální zatížení	Pevnost
	průměr	výška	A (mm <sup>2</sup> )	vyhovující	(kg/m <sup>3</sup> )	při porušení (N)	(N/mm <sup>2</sup> )
V1B	45	45	1590	vyhovující	2140	18800	<b>11,8</b>
V2B	45	45	1590	vyhovující	2100	9300	<b>5,8</b>
V3B	45	45	1590	vyhovující	2100	15600	<b>9,8</b>
<b>PRŮMĚR: 9,1 MPa</b>							

Tab. 17: Výsledky destruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku (březen 2017)

#### 8.1.2.3 Experimentální zkoušky rozšířené klenby

Z důvodu nedostatečných informací, týkajících se tvaru konstrukce klenby, byly provedeny destruktivní zkoušky rozšířené klenby dle ČSN EN 12390-3 „Zkoušení ztvrdlého betonu- Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles“. Na návodní straně nastává mezi poli A - B a B – C na podhledu nosné konstrukce viditelný výškový zlom. U hranice zlomu byl proveden zkušební vrt v poli A-B i B-C. Bylo zjištěno, že v tomto místě byla klenba zřejmě dobetonována v pozdější době v tl. 320 mm.

#### 8.1.2.4 Experimentální zkoušky skladby na mostě a chodníku

Pro zjištění skladby vozovky na mostě a vyloženém chodníku byly provedeny dvě sondy. Skladba vrstev vozovky na mostě byla zjišťována jádrovým vývrtem v místě sondy SK1 a SK2.

V sondě SK1 bylo zjištěno, že pod asfaltovými vrstvami tl. 55 mm se nachází vrstva dlažebních kostek, uložených do hubeného betonu. Pod kostkami byla nalezena vrstva šterkopísku, sahající až na nosnou konstrukci z pískovcových kvádrů. V sondě SK2 byla odkryta železobetonová konstrukce,



provedená se dvěma krajními ocelovými válcovanými U- profily, staženými táhlem a s vybetonováním.

#### 8.1.2.5 Analýza vlhkosti

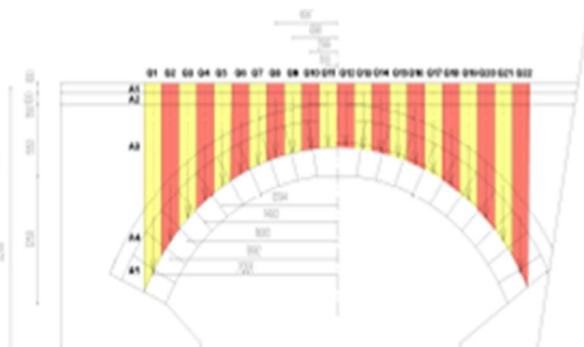
Pro stanovení vlhkostního režimu byl vybrán jeden oblouk, který reprezentoval chování celé mostní konstrukce. Hlavní pozornost v rámci stanovení vlhkosti byla soustředěna na spodní líc oblouku, který je z hlediska působení vlhkosti nejexponovanějším místem konstrukce s nejzávažnějšími projevy probíhajících degradačních procesů. Pro stanovení vlhkosti odebraných vzorků byla použita gravimetrická metoda.

Vlhkostní analýza		
Vzorek č.	pozice	vlhkost %
1	pata klenby	8
2	vrchol klenby	19,5
3	pata klenby	8,2

Tab. 18: Výsledky analýzy vlhkosti mostu v Rumburku (duben 2017)

#### 8.1.3 STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI MOSTU

Výpočtem byla stanovena stávající zatížitelnost mostu a následně ověřena jeho zatížitelnost po zesílení klenby. Výsledky jsou součástí podrobného statického výpočtu, provedeného autorkou. Pro výpočet vnitřních sil byl použit 3D model v programu Scia Engineer. Pro ověření byl vytvořen prutový rovinný model kleneb. Dále byla klenba ověřena pomocí klasické grafické metody. Most může být po rekonstrukci v zatěžovací třídě B.



Obr. 138: Grafické řešení klenby mostu

#### 8.1.4 SHRNU TÍ PŘÍČIN PORUCH

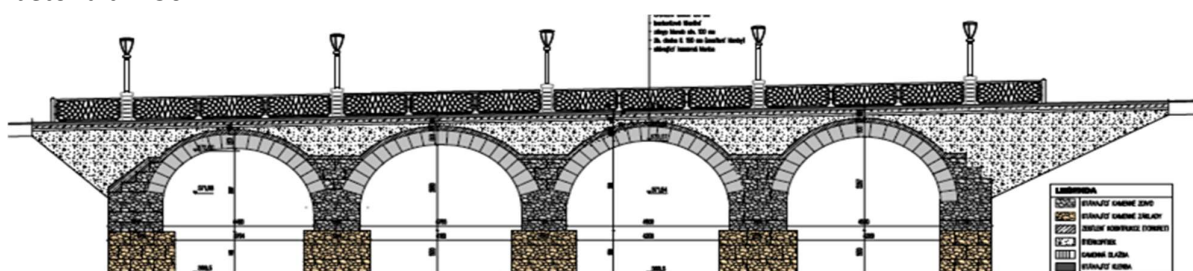
- pronikání vlhkosti do konstrukce (atmosférická voda, povrchová voda, voda hnaná větrem)
- použití nevhodného materiálového řešení (torkretu) v minulosti při rekonstrukci objektu

#### 8.1.5 NÁVRH REKONSTRUKCE

- Vlastní návrh rekonstrukce je omezen na následující stručný postup [17,18,107,117]:
- Příprava objízdne komunikace, příprava zemních hrázek



- Odstranění stávajících vrstev vozovky - stávající zásyp a kamenná dlažba budou zachovány a po dobu rekonstrukce budou uloženy na bezpečném místě
- Zemní práce a odstranění vrstev torkretu v celém rozsahu
- Provedení tryskové injektáže pod pilíři
- Diagnostická prohlídka nosných konstrukcí po odstranění vrstev torkretu
- Stanovení vlhkosti a fyzikálně - mechanických vlastností kamene po odstranění vrstev torkretu
- Očištění a sanace kamene tryskáním, hydrofobizace
- Provedení zesílení klenby rubovou skořepinou - výpočtem bylo navrženo zesílení pomocí vrstvy betonu tl. 150 mm.



Obr. 139: Navržená rekonstrukce mostu

- Umístění původního násypu, provedení vyložení chodníku - v rámci provádění vyložení chodníku budou provedeny odvodňovací vpusti
- Provedení vozovky včetně původní kamenné dlažby (provedení hydroizolačních vrstev - v rámci rekonstrukce je navržena u vyložení chodníku a jako ochrana zesílení mostu navržena hydroizolace (elastomerní polyurea). Ve vrstvě nad stávající klenbou bude provedeno tradiční bentonitové těsnění pomocí bentonitových matrací). Aplikace materiálu a jeho analýza je popsána níže.
- Terénní úpravy
- Napojení nové komunikace se stávající a převedení provozu na rekonstruovaný most

#### 8.1.6 EXPERIMENTÁLNÍ APLIKACE HYDROIZOLAČNÍHO MATERIÁLU- ELASTOMERNÍ POLYUREA

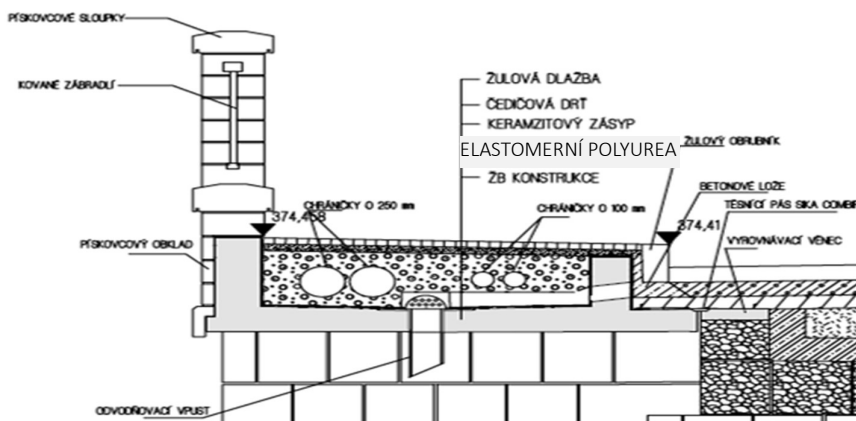
Materiál bude aplikován pomocí vysokotlakého zařízení na předem očištěný a zdrsňený povrch vysokotlakým zařízením Graco v hmotnostním poměru směsí A : B= 1 : 1. Pro zajištění lepší přilnavosti materiálu k povrchu je nutné na zdrsňený povrch aplikovat primární nátěr, na který byl posléze nastříkán hydroizolační materiál. U tohoto mostu byla zvolena aplikace HS3 (hydroizolační souvrství, viz. předchozí kapitola s určitou modifikací ve vrchních vrstvách) v souladu s TP 164 (Technické podmínky). Jedná se pouze o zkušební část aplikace v omezeném rozsahu. Po ověření vlastností materiálu bude rozhodnuto o jeho aplikaci v celém navrženém rozsahu.



Za tímto účelem byl před vlastní realizací experimentálně aplikován materiál elastomerní polyurey na vzorek, který byl od r. 2018 vystaven vnějším podmínkám a zatížen stejně, jako bude zatěžována část mostovky.



Obr. 140: Experimentální aplikace materiálu na mostě



Obr. 141: Skladba vozovky na mostě

### 8.1.7 ANALÝZA APLIKACE MATERIÁLU

Po aplikaci elastomerní polyurey je sledováno především zachování jejich funkčních a mechanických vlastností. Dále je analyzován stav vlastní mostní konstrukce po rekonstrukci. Je třeba, aby most odolával i po rekonstrukci zvýšenému provozu a rychlosti vozidel na mostě.

Diagnostikou mostních konstrukcí a vozovkových vrstev se zabývá několik dokumentů, není však zpracována žádná podrobnější metodika (viz. TP 72). Měření metodou radarového CPR systému zde nebylo použito, neboť případné poruchy by byly zachyceny již akustickým trasováním či infrakamerou. Hydroizolační souvrství bylo tedy hodnoceno ve dvou stupních přibližně každé dva měsíce od aplikace. Pro analýzu byla použita metoda vizuálního hodnocení, akustického trasování a termografie. Měření probíhalo od listopadu 2018 do dubna 2019 (pravděpodobně bude pokračovat). Pro lepší porovnání výsledků bylo měření infrakamerou prováděno jak v ranních, tak večerních hodinách. Principem tohoto měření je, že dutá místa mají jinou teplotu než místa plně přiléhající k podkladu. Tuto metodu je možné využít v době, kdy je dostatečný rozdíl mezi povrchovou teplotou míst nedelaminovaných (přilnutých) a míst delaminovaných – odtržených, tedy během dopoledne, kdy se místa se vzduchovou bublinou ohřejí osvětlením slunečními paprsky rychleji než místa přilnutá, nebo naopak večer, kdy místa se vzduchovou bublinou chladnou rychleji než místa přilnutá. Během dne byla provedena metoda akustického trasování. Výsledky obou metod se téměř nelišily. Průzkum dosud neodhalil žádná delaminovaná místa (bubliny). Dle vizuálního hodnocení rovněž nebyla zjištěna místa, kde by docházelo k zatékání či jakémukoliv pronikání vody do konstrukce.



Pro možnost finální aplikace dané hydroizolace v celém rozsahu mostu je nutné uvést získané podklady do souladu s certifikací a nařízením EP a rady EU 305/2011, na čemž se v současné době pracuje. [106,107]

### 8.1.8 ZHODNOCENÍ REKONSTRUKCE A JEJICH RIZIKOVÝCH FAKTORŮ

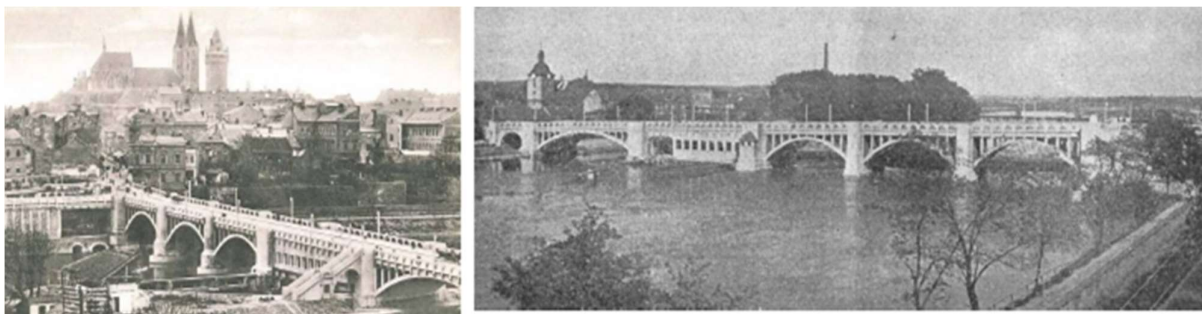
Studie poukazuje na nutnost provádění podrobných průzkumů, kdy jsou odhaleny skutečnosti, jež nejsou na první pohled zřejmé. V návrhu rekonstrukce se uplatnily atypické konstrukční postupy a inovativní materiálová a technologická řešení (užití elastomerní polyurey, HS3). Takto navržené souvrství se dosud jeví jako velmi účinné, neboť se na sledované části („vzorku“) nevyskytují poruchy. Průzkumné metody neprokázaly např. odtržení či nadzvedávání vrstev. Jedná se zároveň o relativně ekonomické řešení, neboť nebyla použita pečetící vrstva a je předpoklad, že v běžném provozu bude aplikovaná vrstva elastomerní polyurey plnit svou funkci plošné izolační membrány.

## 8.2 OBNOVA MASARYKOVA MOSTU V KOLÍNĚ

### 8.2.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA MOSTU

Most se nachází ve městě Kolín na místní komunikaci v ulici Antonína Kaliny, která překlenuje řeku Labe a trať ČD. Most byl postaven na základech původního mostu na počátku 20. století v letech 1924 - 27. Autorem architektonické úpravy je František Roith.

U vlastního přemostění se jedná o pětipolový most. Pro orientaci byl most rozdělen na několik objektů označených následujícím způsobem: Objekt A - most přes trať ČD Praha - Kolín, objekt B - most přes Labe, objekt C - most přes vodní elektrárnu, objekt D - most přes plavební komoru a objekt E - most přes Podskalskou ulici. [113]



Obr. 142 – 143: Masarykův most v Kolíně- historické snímky, zdroj archiv města Kolín



Obr. 144 – 145: Masarykův most v Kolíně - pohledy na stávající stav mostu

**U objektu A – část mostu přes trať ČD** je nosná konstrukce tvořena parapetní konstrukcí z betonu B 400, podélně a příčně predeputá se 2 parapetními nosníky, oddělujícími prostor vozovky od chodníků, umístěných na konzolových nosných železobetonových deskách. Parapetní nosníky jsou duté, přičemž v dutinách je veden parovod a vodovod. Spodní stavbu tvoří dvě opěry, přičemž opěra s hlubším založením byla v minulosti podchycena celkem 30 mikropilotami 108/19, délky 15m.

Povrch chodníků je asfaltový. Most byl založen plošně, spodní stavbu tvoří plně tížní betonové opěry.

Tato část byla provedena na začátku 90. let Ing. Radkem Boháčem na místě zcela zdegradované původní části. Z důvodu zajištění průjezdného profilu nad železniční tratí byla konstrukce řešena s využitím parapetních nosníků, čímž došlo ke zvýšení jejich užitných vlastností, trvanlivosti a použitelnosti.

**Objekt B - most přes Labe** tvoří tři dělené oblouky. Železobetonové oblouky spolupůsobí s horní mostovkou žebrovou, podporovanou železobetonovými rámy. Klenby jsou dvoupasové. Nad pilíři byly vloženy železobetonové desky. Tloušťka vzpěr u oblouků je 400 mm. Povrch vlastní dvoupruhové vozovky je asfaltový, povrch chodníků na obou stranách mostu je tvořen zámkovou dlažbou.

Pilíř II a pilíř III jsou založeny plošně, pilíře IV a V byly založeny na pilotách 400/400, deska mezi pilíři byla založena na dřevěných pilotách o průměru 300 mm. V oblasti 3. a 5. mostního pilíře je umístěno další technické vybavení sestávající ze dvou částí. Obě části jsou v prostoru mezi 3. a 5. pilířem vzájemně propojeny obslužnou ocelovou příhradovou lávkou s pochozími ocel. porořšty umístěnou mezi dělenými nosnými železobetonovými mostními oblouky. Celé toto zařízení je přístupné z nábřežního prostoru Horního ostrova.

Další částí je **objekt C - most přes vodní elektrárnu**, u kterého je NK tvořena železobetonovými monolitickými sdruženými rámy s rámovými příčlemi s náběhy a trámovou mostovkou. Sloupy této konstrukce jsou do konstrukce nad turbínami osazeny kloubově. Obvodové stěny prostoru technologie vodní elektrárny jsou rovněž železobetonové. Nad žb základovou deskou



uloženou na dřevěných pilotách o průměru 300 mm jsou provedeny kanály pro 4 turbíny. Vodní elektrárna není nyní v provozu.

U **objektu D- most přes plavební komoru** tvoří nosnou konstrukci železobetonový jednopásový oblouk spolupůsobící s horní mostovkou žebrovou, podporovanou žb sloupy. Vzpěry byly provedeny o rozměru 400/200. NK byla provedena z betonu B 250 dle dříve užívaného značení. Pilíř IV byl založen hlubinně na dřevěných pilotách a pilíř VII byl založen plošně.

Posledním **objektem je E - most přes Podskalskou ulici**, u kterého byla nosná konstrukce provedena jako železobetonová klenba půlkruhová a výplňovým betonem nad klenbou. Objekt byl založen plošně.

Most je oboustranně odvodněn pomocí odvodňovačů umístěných ve vozovce podél obrub na obou stranách v pravidelných odstupech.

## 8.2.2 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM ANALÝZA HLAVNÍCH DEGRADAČNÍCH VLVIVŮ

Za hlavní příčinu poruch mostu lze jednoznačně označit vlhkost, a to v podstatě v jakékoliv její podobě a způsobu pronikání do konstrukce. Celkový stav mostu je relativně dobrý a není ohrožena jeho funkce ani zatížitelnost. Poruchy však vykazuje mostní svršek a řada menších poruch se objevuje i na nosné konstrukci, obloucích – trhliny, odlupování a odpadávání menších povrchových částí v důsledku začínající koroze výztuže apod., částečně i u mostních pilířů. Aby však nedocházelo k další degradaci těchto částí, která by již následně mohla mít za následek snížení statické bezpečnosti konstrukce, je navržena jejich sanace.

Přibližně před více jak dvaceti lety byla na mostě provedena rekonstrukce, která byla zaměřena především na statické zajištění objektu A. Současně byla provedena i nová hydroizolační vrstva s celkovým odvodněním všech objektů mostu. Dle dokumentace z r. 1996 byla na mostě provedena izolace hydroplast, což bylo následně potvrzeno sondami. Dle průzkumů tato vrstva již neplní svou funkci a dochází k zatékání do NK. Nejproblematičtější částí je objekt C - vodní elektrárna, kde jsou průsaky kritické vzhledem k vnitřnímu vybavení objektu. Dalším problémem jsou nejen u tohoto objektu nefunkční odvodňovače, které jsou na mnoha místech buď zanesené nečistotami či dochází k jejich totální degradaci. Vzhledem k tomu, že se jedná o most, který je jednou z hlavních dopravních tepen města, řada poruch vychází i z jeho velkého dopravního vytížení. Jedná se např. o porušení vozovkových vrstev apod.

## PROVEDENÉ PRŮZKUMY

### 8.2.2.1 Vizualní - předběžné průzkumy a zjištěný stupeň degradace

Na základě vizuálních prohlídek byly stanoveny hlavní poruchy jednotlivých částí mostu.





Vzhledem k velkému rozsahu mostu jsou níže uvedeny pouze poruchy, které jsou považovány za zásadní a „reprezentativní“ - tedy takové, které se na konstrukci typově opakují u všech objektů mostu.

#### Degradace spodní stavby:

Pilíře spodní stavby jsou relativně v dobrém stavu, povrchově se objevuje pouze biologické znečištění hlavně holubím trusem.



Obr. 146 - 147: Degradace spodní stavby Masarykova mostu, obj. B,C

#### Degradace NK:

V důsledku zatékání (průsaky zejména dilatačními spárami a povrchové zatékání) dochází k výrazné degradaci betonu u hran a na líci obloukových pasů, stěn, příčniců a podélníků trámových roštů, nosných konstrukcí a oblouků, které se projevuje např. lokálním odlupováním krycí vrstvy s následnou korozí ocelové výztuže, výluhy a vznikem lokálních trhlin.



Obr. 148 – 149: Degradace nosné konstrukce Masarykova mostu, objekt D



POVRCHOVÁ TRHLINA NA OBLOUKU, OBJ.D

Obr. 150 - 152: Masarykův most - degradace nosné konstrukce- zatékání/ odlupování povrchových vrstev, opadávání krycí vrstvy/ trhliny

### Degradace mostního svršku:

U mostních říms dochází vlivem zatékající vody k obdobným poruchám jako u nosné konstrukce - odlupování vrstvy betonu, lokální výluhy.

Zábradlí na mostě je plně železobetonové, vylehčené polokruhovými otvory a mřížovou ocelovou výplní. Výplně jsou tvořeny sloupky z ocelových čtvercových tyčí kotvených do římsy a v horní části do oblouku. Pouze u objektu A je zábradlí kovové, doplněné v rámci rekonstrukce prováděné v 90. letech. Uprostřed ve vrcholu jsou oblouky dilatovány. Charakteristické je také protažení pilastrů zábradlí přes mostovku až do horní úrovně vzpěr a jejich příčná profilace ve spodní části. Uvedené provedení kotvení vetknutím má však značný podíl na vzniku množství závad v této oblasti. Rozdílná tepelná roztažnost materiálů má za následek vznik trhlin, zatékání a degradaci betonu při mrazových cyklech a dále se projevuje odlupováním a vypadáváním celých betonových částí.

Velmi problematické je celkově těsnění veškerých dilatačních a pracovních spár nejen u NK, ale i ve vozovkovém souvrství, u říms jednotlivých objektů, zábradlí a u parapetních nosníků u objektu A. Elastické mostní závěry jsou pravděpodobně u všech částí deformované, dochází k otevření pracovních spár podél EMZ.

Na vozovce se lokálně objevují trhliny a známky porušení vlivem jejího nadměrného užívání. Kryt chodníků je celkově v dobrém stavu, lokálně dochází pouze k deformaci prvků v oblasti dilatačních spár.

Apsidy nad pilíři jsou bohužel poškozeny vandaly - vyskytují se zde nánosy nečistot a odpadu.





Obr. 153 – 157: Masarykův most - degradace mostního svršku - problematické řešení dilatačních a pracovních spár

### 8.2.2.2 Diagnostika mostu

Zkoušky byly provedeny pro získání pevnostních charakteristik, třídy betonu, stanovení vlhkosti a obsahu solí a určení skladby vozovkových vrstev včetně hydroizolace. U pilířů a oblouku byly pomocí jádrového vrtu odebrány celkem tři vzorky (V1 - V3) a dále byly provedeny čtyři sondy (S1 - S4) pro zjištění skladby vozovky na mostě nad jednotlivými objekty a v krytu chodníku. Objekt A nebylo nutné tímto způsobem experimentálně ověřovat, neboť je k dispozici dokumentace ze zmiňované rekonstrukce v r. 1996. Dále byl proveden průzkum trhlin dle TP 88.



Obr. 158 – 160: Jádrové vrtání (chlazení vodou, obj. D, výtvy)

### Výsledky diagnostiky mostu:

Diagnostikou byly zjištěny tyto třídy železobetonových konstrukcí:

- objekt B: oblouk a pilíře (B 250), objekt D: oblouk a pilíře (B 250)
- u vzorků z nosných konstrukcí (oblouků) se jednalo o kvalitní betonovou směs s velkými zrny kameniva a vysokým stupněm vyztužení, vzorek z pilíře objektu D se rozpadal již na místě po jeho



odběru - u pilířů se pravděpodobně vyskytuje větší množství kaveren, což je vzhledem k době, kdy byl most postaven a použité technologii, očekávaný jev.

Sondy provedené ve vozovce a v chodníkovém krytu prokázaly následující složení:  
Stávající komunikace je u objektu A zabudována v následující skladbě:

- tenkovrstvý ASF. BETON ULM, tl. 20 mm
- přelepovací nátěr - kationaktivní
- emulze asfaltu na bázi modifikovaného asfaltu
- ASF. BETON ABS, tl. 600 mm
- izolace hydroplast 60 P2, tl. 10 mm
- nosná konstrukce beton B 400, tl. 375-400 mm

Komunikace u objektů B- E:

Stávající komunikace na mostě je dle průzkumu zabudována ve skladbě:

- drťový asfalt.mastix, tl. 30 mm
- asfalt. beton, tl. 55 mm
- asfalt. beton, tl. 50 mm
- izolace hydroplast 60 P2, tl. 5 mm
- stříkaný beton (MONOCRETE), tl. 5 mm
- původní roznášení železobetonová deska, tl. 300 mm, nosná konstrukce

V současné době jsou na mostě zabudovány izolační pásy hydroplast, které vzhledem k zjištěným místům průsaků budou odstraněny a nahrazeny novou hydroizolační vrstvou. Kryt chodníku tvoří zámková dlažba do vápenné malty, pod touto vrstvou je lože ze suché vápenné malty.

### 8.2.2.3 Analýza vlhkosti

Určení vlhkosti bylo důležité především u objektu C - mostu nad vodní elektrárnou. V této části dochází ke značnému pronikání vody mostovkou. Vzhledem k účelu užívání tohoto objektu a jeho vnitřního vybavení by mohlo zatékání způsobit velmi závažné poruchy a ohrozit tak celkový chod elektrárny. Proto také nebylo možné provádět velký počet sond a vlhkost byla zjištěna pouze příložným vlhkoměrem.

#### Výsledky analýzy vlhkosti:

Z analýzy vyplývá, že vlhkost nosné konstrukce v řešeném úseku je zvýšená (prům. 6,8 % hm.). Hlavní dotací vlhkosti v objektu vodní elektrárny jsou netěsné či zanešené odvodňovače, které již zásadním způsobem neplní svou funkci. Průsaky mostovkou nejsou v porovnání s průsaky degradovanými odvodňovači výrazné, ale na několika místech se přesto vyskytují. Do značné míry



jim pravděpodobně zabraňuje vrstva stříkaného betonu MONOCRETE. Měření přímo na mostě prokázalo průměrně zvýšenou vlhkost i u dalších částí mostu.

#### 8.2.2.4 Analýza hydroizolačního souvrství

Na základě analýzy jádrových vývrtů byla zjištěna výše uvedená skladba vozovky u jednotlivých objektů mostu a skladba chodníkového krytu. Na všech mostních objektech byla provedena izolace HYDROPLAST 60 P2. Jedná se o natavací pás, pod kterým byla provedena vrstva kotevně impregnačního nátěru MC DUR LF 450 s posypem vysušeným křemičitým pískem. Nad vrstvou izolačních pásů se typicky nachází ochranná vrstva AB.

Pro omezený rozsah této práce nebudou uvedeny veškeré výsledky experimentální analýzy. Níže jsou shrnuty pouze zásadní informace. U hydroizolačních pásů byl analyzován bod měknutí asfaltové hmoty a odolnost při zvýšené teplotě. Pro analýzu hydroizolačního souvrství byla dále použita metoda akustického trasování a termografie.

#### Výsledky analýzy hydroizolačního souvrství:

EXPERIMENT	NORMA	VÝSLEDEK	ZÁVĚR
Bod měknutí asfaltové hmoty	ČSN EN 1427 2007	140,5°C	VYHOVUJE
Odolnost proti stékání při zvýšené teplotě	ČSN EN 1110 2011	150°C	VYHOVUJE

Tab. 19: Analýza hydroizolačních souvrství použitého u mostu

Z Tab. 19 vyplývá, že naměřené hodnoty vyhovují požadavkům norem. Na odebraných vzorcích byly dále analyzovány kvalitativní parametry jednotlivých vrstev (tloušťka a způsob provedení), které rovněž vyhovují požadavkům norem i TKP (Technické kvalitativní podmínky). U některých vzorků však bylo možné oddělit vrstvu izolace pouze s menším odporem. Experimentální analýza prokázala, že nejčastějším místem poruch jsou spoje pásů. Na několika náhodných místech na mostě bylo ověřeno, že dochází k jejich nadzvedávání či odlupování. Je proto předpoklad, že tato situace nastává i na dalších místech, která však nejsou možná vzhledem k rozsahu mostního objektu postihnout. [136,137]

#### 8.2.3 SHRNUÍ PŘÍČIN PORUCH

- pronikání vlhkosti do konstrukce (zejména netěsnými dilatačními a pracovními spárami)
- atmosférická voda (zatékání do konstrukce), voda hnaná větrem (římsy objektů)
- poruchy spojů izolační vrstvy
- zanedbaná údržba



#### 8.2.4 STRUČNÝ NÁVRH REKONSTRUKCE

Obnova bude započata opravami na nosných částech mostu – obloucích, vzpěrách, NK a mostním svršku. V poslední etapě budou opraveny navazující části – schodiště, nábrežní zábradlí, odvodňovací svody, kotvení vrat apod. Oprava navazujících částí je součástí projektové dokumentace opravy mostu.

V rámci oprav mostního svršku se přikročí k odfrézování vozovky na mostě a předmostích v celé šířce řešené části komunikace - rozsah úpravy je patrný z výkresové dokumentace. Tato úprava bude probíhat vždy při uzavření jednoho jízdního pruhu v druhém jízdním pruhu. Je nutné zachovat průjezd. Zároveň s vozovkou budou opravovány také mostní závěry, dilatační a pracovní spáry.

Poté se přistoupí k opravě dalších částí mostního svršku - mostní římsy a navazující části mostovky, zábradlí včetně kotvení osvětlovacích těles. Následně bude provedeno nové souvrství vozovky na mostě a předmostí v rozsahu řešeném projektovou dokumentací.

Cílem obnovy nosné konstrukce a podpěr je zajištění jejich funkčnosti a trvanlivosti, spočívající v aplikaci projektem stanovených materiálů ochranného charakteru a v obnově částí betonu u konstrukčních prvků do původně stanoveného tvaru a funkce. [103,105,106,107] Dále je řešena problematika biokoroze pilířů a nosných prvků mostu včetně ochrany mostu proti ptactvu.

**Izolace mostu:** v současné době jsou na mostě zabudovány izolační pásy hydroplast, které vzhledem ke zjištěným místům průsaků budou odstraněny a nahrazeny novou hydroizolační vrstvou. Na nosnou ŽB konstrukci bude proveden základní penetrační nátěr.

**Mostní závěry:** Dle průzkumu byly na mostě provedeny mostní flexibilní dilatační závěry, které dobře plní svou funkci, ale bohužel mají relativně nízkou životnost. Po odstranění stávající vozovky bude bezprostřední okolí závěrů upraveno pro osazení nového mostního závěru s jednoduchým těsněním spáry, např. CIPEC WR. Tento mostní závěr má tu výhodu, že je dodáván v délkách 3,5 m (tedy v šířce jízdního pruhu) a je konstrukčně uzpůsoben tak, aby při jeho osazování nebylo nutné zasahovat do vlastní nosné konstrukce mostní desky. Při osazování je bezpodmínečně nutné plně respektovat veškeré technické pokyny a dodržovat technologické postupy stanovené výrobcem. Mostní závěry budou utěsněny výše uvedeným způsobem - asfaltovou zálivkou.

**Odvodnění:** Odvodnění povrchu vozovky na mostě a v jejich předmostích je zajištěno příčným a podélným sklonem vozovky. Technický stav odvodňovačů osazených na mostě bude v rámci rekonstrukce překontrolován a odvodňovače budou pečlivě vyčištěny. Po odkrytí vozovkových vrstev bude rozhodnuto o jejich případné výměně nebo pouze opravě. Zejména důležité je provedení kvalitního napojení nové vodotěsnící vrstvy v této oblasti.



Při průzkumu in situ lze předpokládat, že dle stavu nosné konstrukce odvodnění plní svou funkci. V případě zjištění, že některý z odvodňovačů není funkční, je navržena jeho náhrada, ref. výrobek mostní odvodňovač ACO HSD-2, 500x 300.

**Nosná konstrukce mostu:** U všech částí konstrukce (hrany a spodní líc obloukových pasů, stěny nad obloukovými pasy, příčníky a podélníky trémového roštu, stěny nad opěrami, obloukové pasy apod.) dochází na několika místech k separaci krycí vrstvy betonu nebo k odpadnutí celé části vrstvy. Po otryskání nosné konstrukce a odstranění nesoudržných částí omítky bude hlavní část opravy spočívat v obnově částí betonu u konstrukčních prvků do původně stanoveného tvaru a funkce. Pro tyto účely bude použita jednosložková suchá maltová objemově kompenzovaná směs s obsahem PP vláken, která je určena pro opravy betonu. V první řadě je třeba odstranění veškerých nesoudržných částí u jednotlivých prvků, které bude třeba takto reprofilovat (vybrané vzpěry oblouků, příčníky, další trámy, lokální části u obloukových pasů). Korodující výztuž bude šetrně uvolněna a zbavena korozních zplodin. Poté bude aplikován správkový materiál, ref. výrobek MONOCRETE PPE TH.

Součástí opravy je i provedení aktivní ochrany vůči korozi u nosných prvků konstrukce. Je navržena povrchová aplikace inhibitoru koroze (antikorozi impregnace pro železobeton). Tento materiál bude chránit jak katodickou, tak anodickou oblast (ref. Výrobek ke SIKA FerroGard 903 Plus na bázi organických sloučenin). Po aplikaci proniká betonem a ulpívá na povrchu ocelové výztuže.

Na mnoha místech, která jsou zakreslená ve výkresech poruch a degradací se na mostě lokálně vyskytují trhliny. Lze usuzovat, že se převážně jedná pouze o strukturální trhliny, které budou vyplněny epoxidovými pryskyřicemi s nízkou viskozitou. Pokud se po odkrytí omítkové vrstvy prokáže, že se na mostě vyskytují konstrukční a hlubší trhliny, bude použit systém pružné vodotěsné injektáže trhlín a vyplňování dutin, ref. výrobek SIKADUR a SIKA INJECTION.

Po provedení výše uvedených prací na NK všech částí mostu a pochopitelně předchozího vyčištění mostu, bude aplikována ochrana betonu - vodoodpudivá impregnace na bázi reaktivního silanu. Jedná se 1komponentní, nízkoviskózní nátěr s obsahem 99 % aktivních složek bez obsahu rozpouštědel, ref. výrobek SIKAGARD 705 L.

**Mostní římsy:** Mostní římsy jsou dle průzkumu prováděného in situ částečně povrchově narušeny degradací betonu vlivem povětrnosti a působení rozmrazovacích prostředků. V rámci průzkumu byly nalezeny trhliny a místy i odpadávání betonu.

Sanace bude provedena nejdříve otryskáním mostních říms pomocí vysokotlakého vodního paprsku. Následně se provede oprava trhlín vhodnými flexibilními tmely výhradně určenými pro tuto oblast použití. Barva tmelu musí být z estetických důvodů pouze šedá. Pro sanaci hlubších spár bude použit systém pružné vodotěsné injektáže na bázi polyuretanových a akrylových pryskyřic. U zjištěných konstrukčních trhlín a dutin bude po otryskání povrchu provedena jejich sanace výplněmi na bázi epoxydivých pryskyřic s nízkou viskozitou. Pro opravu úlomků betonu se použijí speciální



reprofiláční a opravné hmoty se zaručenými vlastnostmi a trvanlivostí při použití v exponovaných oblastech mostních staveb. Pro opravu lokálních povrchových trhlin je navržen systém pružné injektáže, ref. výrobek SIKA INJECTION. V místě dilatačních a pracovních spár bude v místě stávajícího nefunkčního a nevzhledného těsnění aplikováno pružné těsnění, referenční výrobek SIKADUR SG/řada SIKAFLEX. Povrch říms bude po dokončení opravných prací ošetřen ochranným nástřikem - hydrofobní silanovou impregnací, referenční výrobek SIKAGARD - 705 L.

Při opravě říms je třeba věnovat zvláštní pozornost kotvení ocelových tyčí výplně zábradlí a ostatních kovových prvků. Pro jejich upevnění a těsnění v místě vetknutí se musí použít výhradně speciální záclonky a kvalitní trvale pružné tmely určené pro tuto oblast použití.

**Pilíře:** V části pilířů, kde se vyskytuje obložení žulovým kvádrovým zdivem je rozsáhlá biodegradace, kterou je třeba odstranit, referenční výrobek ALKUTEX BFA.

**Schodiště u vodní elektrárny:** U tohoto schodiště dochází k jeho rozevírání. Je navrženo stažení schodiště pomocí předpínacích CPS tyčí, které budou vloženy do vysekaných drážek. Kotvení v rozích bude provedeno pomocí ocelových ploten, kde bude nutné aplikovat protikorozní nátěr. Schodišťové stupně budou vyčištěny, případně lokálně reprofilovány.

**Opěrné zdi:** U opěrných zdí budou provedeny obdobné opravy, jako v části mostu. Zejména se jedná o úpravy mostních říms a zábradlí. U jedné ze stran opěrné zdi bude provedeno přespárování zdících prvků, případně jejich lokální výměna/ doplnění.

**Vybavení mostu, zábradlí, osvětlovací tělesa:** Na mostě bude renovováno, doplněno a ošetřeno stávající zábradlí, které má značnou historickou hodnotu a zásadním způsobem charakterizuje jedinečný architektonický výraz mostu. Při sanaci je nutné odstranit veškeré nepevné betonové části. Kotvení ocelových tyčových výplní je nutné postupně pečlivě zkontrolovat a ponechat pouze ty prvky, které v oblasti kotvení nevykazují žádné trhliny, což znamená, že v těchto místech bylo kotvení v minulosti již správně technicky opraveno.

Podle navrhovaného postupu se po vyjmutí uvolněných nebo poškozených ocelových tyčí a odstranění nesoudržných a poškozených míst betonu celý povrch dočistí s použitím vodního paprsku. Poškozená místa se opraví vhodnými reprofilačními opravnými hmotami a následně se provedou nové kotevní otvory do hloubky cca 40 mm s použitím vykrúžovací korunky z tvrdokovu průměru 30 mm. U pevně držících tyčí s nepoškozeným kotvením se ošetří okolí kotevních míst očištěním a pečlivým přetmelením vhodným trvale pružným tmelem.

Původní nebo nová (ve vzhledu původní) ocelová tyč výplně zábradlí se vloží do otvorů, zafixuje a v dolní části upevní vinylesterovou chemickou kotvou. Horní otvor se dotmelí trvale pružným tmelem šedé barvy určeným pro danou oblast použití.





Dilatační spára ve vrcholech betonového oblouku zábradlí se prořízne diamantovou pilou. Následně se do ní vloží utěsňující šňůra z pěnového polyetylenu tak, aby od povrchu byla vzdálena cca 5 mm. Otvor se pak vyplní kvalitním trvale pružným tmelem šedé barvy odolávající trvalému působení povětrnosti. Spára musí být pečlivě vyplněna po celém obvodu, aby nemohlo dojít k zatékání do konstrukce. Tmel musí být oproti líci konstrukce mírně zatlačen a povrch v okolí spáry nesmí být tmelem znečištěn.

V horní části zábradlí a v místě upevnění lamp veřejného osvětlení bylo zjištěno odlupování horní vrstvy betonu v důsledku zatékání. Také zde je nutné nepevné části odstranit, opravit podobným technologickým postupem, jak je popsáno výše.

Reprofilací hmoty je třeba při aplikaci již tvarovat a povrch vzhledově sjednotit s okolním povrchem betonových částí zábradlí.

### **Nano materiál:**

V posledním kroku opravy bude celý povrch zábradlí sjednocen vysoce odolným nátěrem. Pro tento účel se uvažuje s použitím moderních nátěrů s nano – pojivem. Toto pojivo je disperze částic organických plastových polymerů, v níž jsou rovnoměrně distribuovány částice křemíku. Díky kombinaci elastického organického materiálu a tvrdých minerálů mají tyto materiály řadu výjimečných vlastností. Zejména jde o hydrofilní charakter nátěru, kdy kapky vody jsou okamžitě rozptýleny a zároveň s sebou odnášejí nečistoty. Povrch rychle vysychá, aniž by docházelo k nežádoucímu vsakování vody a usazování nečistot tak, jak je tomu v případě klasických disperzních nátěrů, kde jsou použity syntetické pryskyřice. Na povrchu se tedy pak netvoří špinavé pruhy a trhliny. Odolnost proti zašpinění nabízejí i silikátové barvy, u nich však je problémem jejich vysoká náchylnost k popraskání až odlupování.

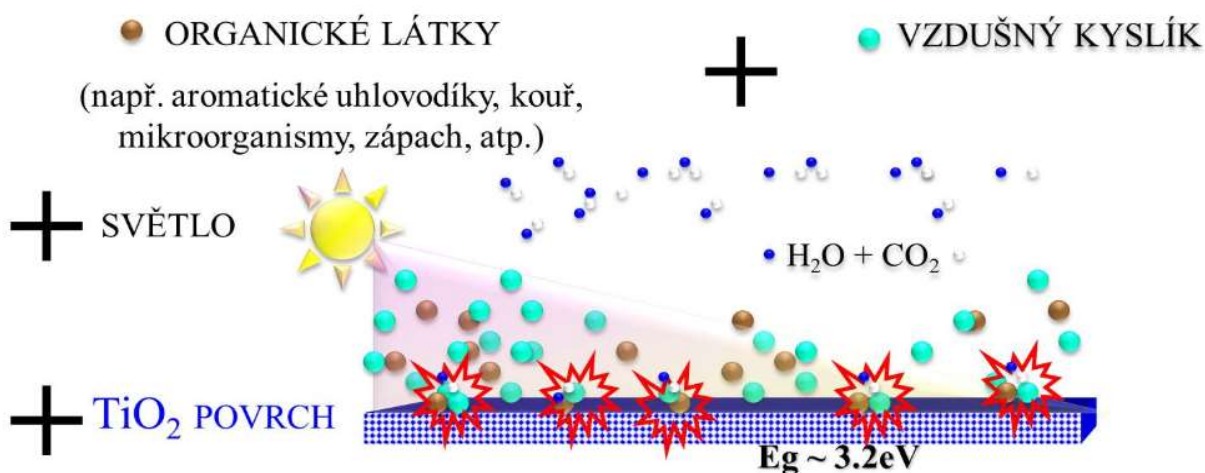
Tato fotokatalytická nanotechnologie využívá energii světla, kterou přeměňuje na silný čistící a antimikrobiální efekt. Fotokatalýza patří mezi fotoprocesy, které jsou přirozenou součástí našeho života a přírody kolem nás. Energie světla, která dopadá na mikrokrystalky polovodiče  $\text{TiO}_2$  vytváří na jejich povrchu volné elektrony a elektronové díry, jejichž působení v kombinaci s kyslíkem rozkládá molekuly organických látek až na molekuly oxidu uhličitého a molekuly vody. Na povrchu fotokatalyzátoru se tak objevuje silný oxidační efekt díky volným elektronům a elektronovým dírám. Přímá interakce elektronů a elektronových děr s vazbami molekul látek okolního prostředí velmi účinně rozkládá široké spektrum molekul organických látek, včetně nečistot (saze, špína, olej, částice) a zápachu. Tento efekt je výborně využitelný proti usazování a růstu mikroorganismů (bakterie, viry, řasy, plísňe, houby).

Důsledkem absorpce UV záření fotokatalyzátorem  $\text{TiO}_2$  je, kromě výše zmíněného rozkladu organických polutantů, také reakce vedoucí ve vzdušném prostředí k tvorbě povrchových OH skupin. Tím dochází k nárůstu povrchové energie, který vede k významnému zvýšení hydrofility povrchu. Tento efekt je nevyčerpatelný, protože se oxid titaničitý na fotokatalytické reakci podílí jen jako



katalyzátor a nespotřebovává se. Popisované účinky jsou proto velmi dlouhodobé. Molekuly prakticky všech organických látek jsou v důsledku fotokatalytického efektu rozloženy převážně na molekuly vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Molekuly anorganických látek, schopné oxidace, jsou dále oxidovány ( $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$ ;  $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$ ;  $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3$ ).

Technologie funkčních nátěrů FN NANO<sup>®</sup> využívá specifických vlastností vysokého povrchu mikroskopických krystalků  $\text{TiO}_2$  o rozměrech menších než 100 nanometrů (nm) a fyzikálních jevů probíhajících na atomární a subatomární úrovni. 1 m<sup>2</sup> funkčního povrchu opatřeného nátěrem FN NANO<sup>®</sup> v sobě obsahuje cca 500 m<sup>2</sup> využitelné plochy nanokrystalů fotokatalyzátoru. [114,115,141]



Obr. 161: Schéma fotokatalýzy [141]

V neposlední řadě je výhodou tohoto nátěru také stálost barevného odstínu nátěrových hmot s nano – pojivem. Nedochází ke křídování, a to ani v dlouhodobé expozici při negativně působících povětrnostních vlivech. Protikorozní ochrana je navržena v souladu s TKP kapitola 19:

Korozní agresivita prostředí „C<sub>3</sub>“ dle ČSN ISO 9223

Otryskání na stupeň čistoty „Sa 3“

Nezanedbatelným přínosem některých nano – nátěrů je jejich jedinečná schopnost výrazného čištění ovzduší, což představuje velký přínos pro zlepšení životního prostředí v dané lokalitě zatížené hustým automobilovým provozem.

U zábradlí v části mostu nad ČD a u výplní obloukového železobetonového zábradlí bude aplikován ochranný polyuretanový protikorozní nátěr, referenční výrobek SIKACOR EG 120.

### 8.2.5 ANALÝZA APLIKACE ELASTOMERNÍ POLYUREY

Současná hydroizolace je již nedostatečná, resp. na mnoha místech ztrácí svou funkci. Analýza stávajícího izolačního systému potvrdila několikrát uvedenou hypotézu, týkající se problematiky spojů pásů. Ve všech pěti polích mostu dochází k lokálnímu zatékání do nosné konstrukce, ve vnitřní

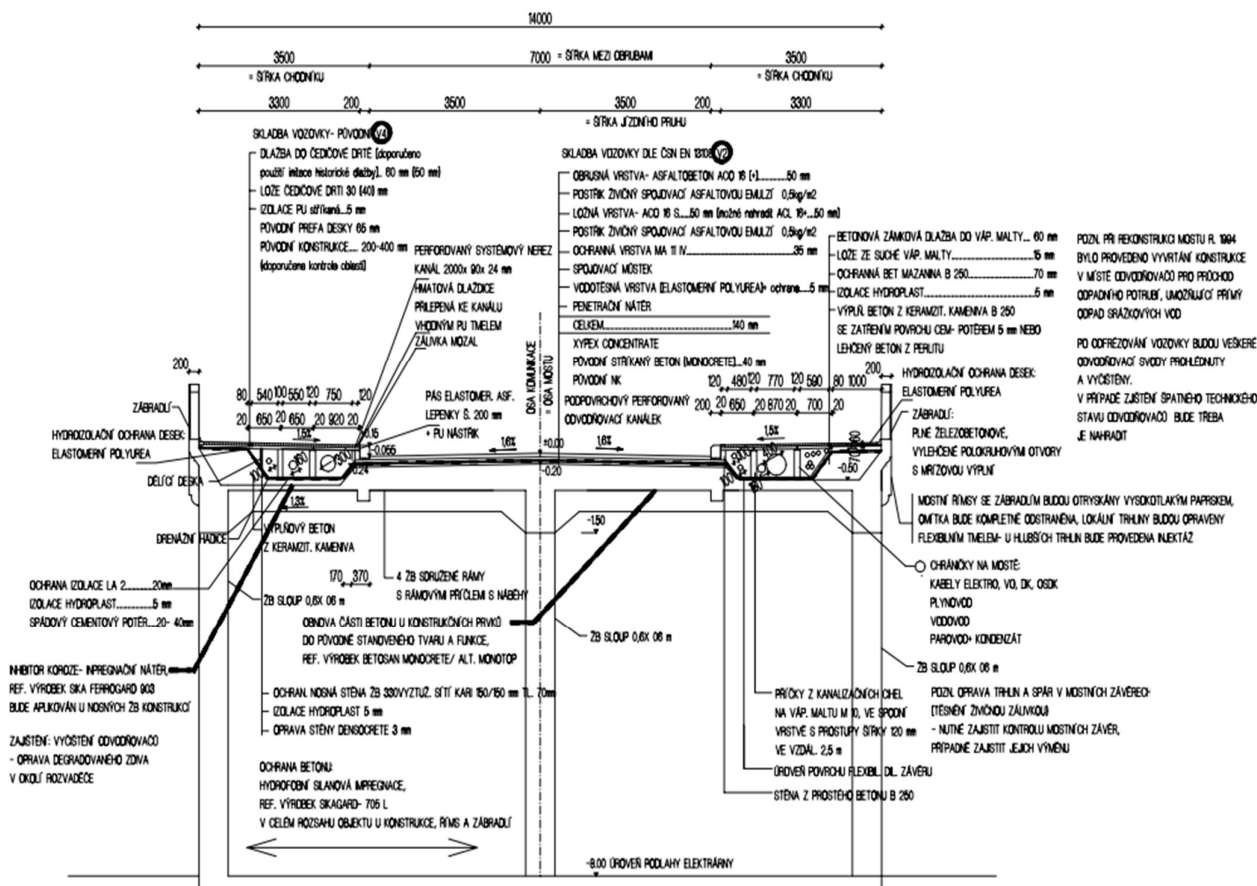


části vodní elektrárny jsou lokálně viditelné průsaky. V důsledku zatékání se objevují poruchy např. u vzpěr, příčniců a dochází k odlupování krycích vrstev v jednotlivých polích mostu. Masarykův most je významnou spojnicí pro město Kolín a neustále je tak nadměrně přetěžován dopravou. Z tohoto důvodu bylo nutné navrhnout hydroizolaci, která bude odolávat především dynamickému zatížení a bude splňovat veškeré požadavky na hydroizolační souvrství. Aplikace elastomerní polyurey se jeví jako velmi vhodné řešení vzhledem k jeho vysoké pružnosti a dalším fyzikálním vlastnostem, kterými na mostě zabudované degradované asfaltové pásy nedisponují. V návaznosti na technické parametry lze konstatovat, že ani v současné době vyráběné asfaltové pásy nemají srovnatelné vlastnosti s polyuretanovými izolacemi. Aplikaci hydroizolační vrstvy bude třeba kombinovat s dalším hydroizolačním opatřením, spočívajícím ve výměně či sanování odvodňovačů na nosné konstrukci mostního pětipolí.

U polí A, B, D, E bylo navrženo použití HS1:

- obrušná vrstva: ACO 16+, tl. 50 mm
- postřík živičný spojovaný asfaltovou emulzí 0,5 kg/ m<sup>2</sup>
- ochranná (ložní) vrstva: MA 11 IV, tl. 35 mm
- (možné doplnit v návaznosti na výsledky experimentálních analýz: adhezní vrstva pod lité asfalty: syntetická pryskyřice – viz. HS3)
- vodotěsná vrstva: elastomerní polyurea, tl. 5 mm
- penetrační nátěr
- nosná konstrukce (železobeton)

Tato vrstva by měla zaručit veškeré požadované vlastnosti hydroizolační membrány. Jedná se o relativně ekonomické řešení v rámci navrhovaných souvrství, neboť nebude použita pečetiví vrstva, která se jednak dle provedených analýz ukazuje jako nepřilíš účinná a navíc by byla velmi vysoká spotřeba materiálu v případě aplikace na všechny mostní objekty. V případě Masarykova mostu je použití izolace elastomerní polyurey velmi účelné i z důvodu jiných vlastností. Jedná se o odolnost proti výbuchu, kterou navržený materiál disponuje. V části chodníků totiž prochází mostní tělesem vedení STL a NTL. Přestože je v současné době tendence provádět přeložky plynovodů mimo mostní objekt, v tomto případě to není možné a bude proto vhodné mostní objekt ochránit tímto způsobem.

**PŘÍČNÝ ŘEZ MASARYKOVA MOSTU,  
ČÁST MOST PŘES VODNÍ ELEKTRÁRNU (OBJEKT C)- NOVÝ STAV**

Obr. 162: Masarykův most v Kolíně, příčný řez obj. C- most přes vodní elektrárnu

Vzhledem k nutnosti zajištění co největší ochrany proti vodě u objektu vodní elektrárny, vznikla spolupráce se společností Nekap, jejíž vedení patří mezi současné majitele části C mostu. Bylo tak navrženo systémové řešení, které bude aplikováno pouze u objektu C - most přes vodní elektrárnu, tedy hydroizolační souvrství 5. Součástí tohoto systému je materiál Xypex Concentrate, který v kapilárním systému v betonu iniciuje růst vláknitých krystalů na molekulární úrovni a trvale zaceluje transportní cesty pro kapalná média. Tím vytváří z běžného betonu trvale účinný systém, nepropustný pro tlakovou vodu, odolný naftě, olejům a jejich derivátům i řadě průmyslových chemikálií.



Jelikož Masarykův most v současné době aspiruje na zápis mezi památkově chráněné objekty, bylo třeba návrh hydroizolačních systémů a celkové rekonstrukce konzultovat s NPÚ, které vydalo souhlasné stanovisko.

#### **8.2.6. ZHODNOCENÍ REKONSTRUKCE A JEJICH RIZIKOVÝCH FAKTORŮ**

Rekonstrukce - obnova Masarykova mostu byla navržena tak, aby nedošlo k narušení vzhledu kulturního dědictví. Důraz byl kladen na obnovu funkce a tvaru všech poškozených prvků konstrukce. Velmi zajímavou částí byla spolupráce se společností Nekap, na jejímž základě byl navržen nový hydroizolační systém u objektu vodní elektrárny. U dalších objektů bude aplikováno souvrství HS1 (s přísadami zvyšujícími odolnost vůči teplotám), jehož použití se jeví jako velmi vhodné.

### **8.3 REKONSTRUKCE STŘECH ANEŽSKÉHO KLÁŠTERA**

Studie řeší rekonstrukci části střech Anežského kláštera, u které byly v minulosti použity nevhodné povrchové materiály pro hydroizolaci (asfaltové pásy) a prostory krovu byly doslova vyplněny vzduchotechnikou a kabeláží. V některých částech krovu dokonce došlo k zabetonování historických dřevěných vazných trámů.

Z důvodu vhodného návrhu rekonstrukce střech Anežského kláštera bylo provedeno několik stavebně technických průzkumů. Návrh rekonstrukce byl konzultován s NPÚ.

#### **8.3.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBJEKTU:**

Anežský klášter, zvaný též Na Františku, se nachází na pravém břehu Vltavy v historické oblasti Starého Města pražského. Dvojkláster ženského řádu klarisek a mužského řádu menších bratří byl založen pravděpodobně roku 1231 Anežkou Přemyslovnou, která se stala zároveň jeho první abatyší.

Vlastní případová studie řeší opravu části střech Anežského kláštera. Střešní konstrukce je velmi členitá, nicméně se převážně jedná o jednoduchý hambálkový krov, u kterého se krokve opakují cca po 800 mm, ztužující pásy ve vrcholu jsou umístěny přibližně uprostřed a na koncích řešeného úseku. Na laťování je umístěna střešní krytina. Na několika místech byly v průběhu let provedeny různé stavební úpravy, jako např. podbetonování hambálku železobetonovým stropem nebo vložení žb trámového stropu do nižší úrovně krovu. V části střechy mezi krovky byla provedena nová přístavba a je řešena jako plochá střecha. [138]



Obr. 163 - 165: Anežský klášter, stávající stav řešených částí střech

### 8.3.2 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM

#### ANALÝZA HLAVNÍCH VLIVŮ PŮSOBÍCÍCH NA DEGRADACI STŘECH ANEŽSKÉHO KLÁŠTERA

##### Vliv působení vnějších vlivů v čase [7,9,32,33,38,39,40,116]:

Střešní krytina a oplechování jsou vystaveny stálému přímému působení klimatického zatížení. Některé další typy zatížení vycházejí ze způsobu využívání v průběhu let. Mezi tyto vlivy patří i způsob provedení dostaveb / přístaveb krovu. Dalším problémem je i způsob postupného využívání střech a vnitřní části krovu pro osazení vzduchotechnických jednotek, výustek apod. či kabelové vedení v krovech.

#### PROVEDENÉ PRŮZKUMY

##### 8.3.2.1 Vizuální hodnocení, fotodokumentace - předběžné průzkumy a zjištěné degradace

Výsledky tohoto průzkumu lze shrnout následovně:

- Degradace a koroze jednotlivých kusových prvků krytiny
- Koroze oplechování
- Lokální biodegradace - nánosy holubího trusu ve vnitřní části krovů a v místech úžlabí či na krytině
- Degradace asfaltových pásů u pochozí části střech

##### 8.3.2.2 Mykologický průzkum

Průzkum byl proveden v přístupných částech krovu, které jsou vyznačeny v půdoryse projektové dokumentace se zákresem poruch. Posouzení stavu dřevěných konstrukcí bylo v rámci této části průzkumu provedeno smyslovými metodami a destruktivní metodou - odebráním vzorků. Průzkum byl doplněn o jednoduché mechanické zkoušky nosných prvků poklepem a zkoušku povrchové celistvosti. V rámci mykologického průzkumu na vybraných částech krovů nebylo zjištěno napadení biotickými škůdci.

#### Měření vlhkosti:

V rámci podrobného a doplňkového průzkumu proběhlo měření vlhkosti dřeva, které potvrdilo předchozí hypotézu o celkově dobrém stavu přístupných krovů. Byla zvolena



nedestruktivní elektrická metoda pomocí vlhkoměru pro dřevěné konstrukce GANN HYDROMETTE BL HT-70. Jedná se o elektronický přístroj, který měří vlhkost dřeva na základě elektrického odporu. Vlhkoměr disponuje sedmistupňovou klasifikací druhů dřeva k automatické korekci měřené hodnoty pro více než 300 druhů dřeva. Vlhkost na měřených místech byla nižší než 10 %.

### 8.3.3 NÁVRH REKONSTRUKCE

Návrh rekonstrukce v zásadě spočívá v uchování původních prvků, resp. materiálů a provedení jejich renovace. Veškeré historicky cenné oplechování tedy bude ponecháno, výjimečně se přistoupí k lokálním opravám, případně k dotmelení kvalitním střešním tmelem a opravě nátěrů. Stávající krytina bude očištěna tlakovou vodou, provede se lokální výměna uvolněných, popř. chybějících prežů. Stávající omítka bude odstraněna v celém rozsahu a nahrazena novou vrstvou s použitím omítkovin a spárovacích malt s trasem.

Rozsáhlou částí rekonstrukce bude aplikace elastomerní polyurey, která bude sloužit jako hydroizolační ochrana ploché části střech.

### 8.3.4 ANALÝZA APLIKACE ELASTOMERNÍ POLYUREY

U ploché části střech mezi úrovní šikmých střech jsou v současné době jako hydroizolace položeny asfaltové pásy. Vzhledem k tomu, že se na ploché střeše drží sníh a také srážková voda, je nejdůležitějším prvkem právě hydroizolační vrstva. Jak se i v tomto případě ukazuje, jsou nejslabším místem povlakových hydroizolačních systémů spoje a ošetření střešních výpustí, komínů a atiky. Je navrženo kompletní odstranění asfaltových pásů a jejich nahrazení stříkanou hydroizolací - elastomerní polyureou. Použitím stříkané hydroizolační vrstvy dojde k vytvoření jednotlivé vrstvy s dokonalou přídržností k podkladu a všechna kritická místa budou ošetřena. **Výhodou tohoto řešení je, že materiál nepodléhá fotooxidaci** a je možné ho aplikovat v jakémkoliv barevném řešení. Aplikace byla schválena NPÚ a v blízké době dojde k celkové realizaci rekonstrukce. Materiál bude aplikován standardně na penetrační nátěr po předchozí přípravě povrchu za dodržení veškerých technologických postupů.

### 8.3.5 ZHODNOCENÍ REKONSTRUKCE A JEJICH RIZIKOVÝCH FAKTORŮ

Rekonstrukce střech Anežského kláštera dokládá možnost dochování stávajících prvků při provedení jejich renovace. Riziko spočívá v dokonalém provedení řemeslných prací a nalezení/zhotovení obdobných materiálů v případě nutnosti doplnění některých prvků. Novodobé materiály nejsou obvykle u staveb tohoto typu preferovány, nicméně v případě řešeného objektu došlo v minulosti již k mnoha zásahům, které jsou v rozporu se současným přístupem památkové péče k historickým objektům. Materiál navíc bude aplikován v části „technického zázemí“, u které jsou v první řadě kladeny zvýšené požadavky na zajištění hydroizolační funkce. Tato část není přístupná pro veřejnost.



Hlavním přínosem je zachování původní řemeslné práce včetně renovace či vyrábění prvků, aplikace materiálů a technologií na historické bázi. Aplikace elastomerní polyurey je jedinečná příležitost experimentálního ověření materiálu při aplikaci na historickém objektu se souhlasem NPÚ.

## **8.4 REKONSTRUKCE HISTORICKÉHO OBLOUKOVÉHO MOSTU V JESENÍKU**

### **8.4.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBJEKTU:**

Most se nachází přímo na hranici k.ú. Hradec - Široký brod, místní komunikaci převádí přes řeku Bělou. Stávající most je železobetonový obloukový se spodní mostovkou. Vodorovná nosná konstrukce mostu je trémová. Betonové opěry jsou ve špatném stavu, plošně založené na patkách z prostého betonu a uložené pravděpodobně do šterkového náplavu řeky Bělé. Mostní nosná konstrukce je provedena jako žb monolitická oblouková konstrukce se spodní trémovou deskou. Vyztužení a třída použitého betonu není známa a v současné době se u nosné konstrukce projevují známky pokročilé degradace betonu a koroze výztuže v důsledku opadávání krycích vrstev betonu. Na řadě míst dochází k progresivnímu zatékání do konstrukce. Železobetonová mostovka je vyvěšena prostřednictvím žb táhel, která jsou konstrukčně provázána s příčníky. Podélníky jsou na mostě čtyři. V úrovni oblouků jsou tři příčná ztužidla. Mostní závěry nejsou patrné, ale jsou zřejmě podpovrchové - dle konstrukčního uspořádání VNK 2ks na krajích a uprostřed.

Vozovka mostu je živičná, provedená v několika různě starých vrstvách. Není provedeno spádování podélné ani příčné. Povrch vozovky prakticky lícuje s horním povrchem říms.

Na mostovce byla pravděpodobně provedena penetrační asfaltová hydroizolace do fabionu, která již absolutně neplní svou funkci. Zároveň je možné, že na některých místech nebyla hydroizolace provedena vůbec.



*Obr. 166 – 167: Most v Jeseníku - stávající stav mostu*





#### 8.4.2 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM

##### ANALÝZA HLAVNÍCH VLIVŮ PŮSOBÍCÍCH NA DEGRADACI MOSTU

###### Vliv působení vnějších vlivů v čase:

U této mostní konstrukce je celkově zřejmé přecenění jejich funkčních vlastností a pravděpodobně velmi omezeně prováděná údržba, resp. neprováděná. Konstrukce je neustále vystavena účinkům působení vlhkosti - nejvíce srážkové vody. Vozovkové souvrství je velmi zatíženo neodvodněním vozovky. Dochází k hromadění vody ve vozovce a k následným průsakům do nosné konstrukce. Zvláštností tohoto mostu je provedení dilatace uprostřed, jejíž konstrukce umožňuje další prosakování do mostovky.

[63,105,117,118,119]

###### Nadměrné využívání mostu:

Most pochází z 20. let minulého století. S jistotou lze tvrdit, že byl dimenzován se značnou rezervou, bohužel však neustálé přetěžování mostu logistickou společností se sídlem v blízkosti mostu si vybírá svou daň.

#### PROVEDENÉ PRŮZKUMY

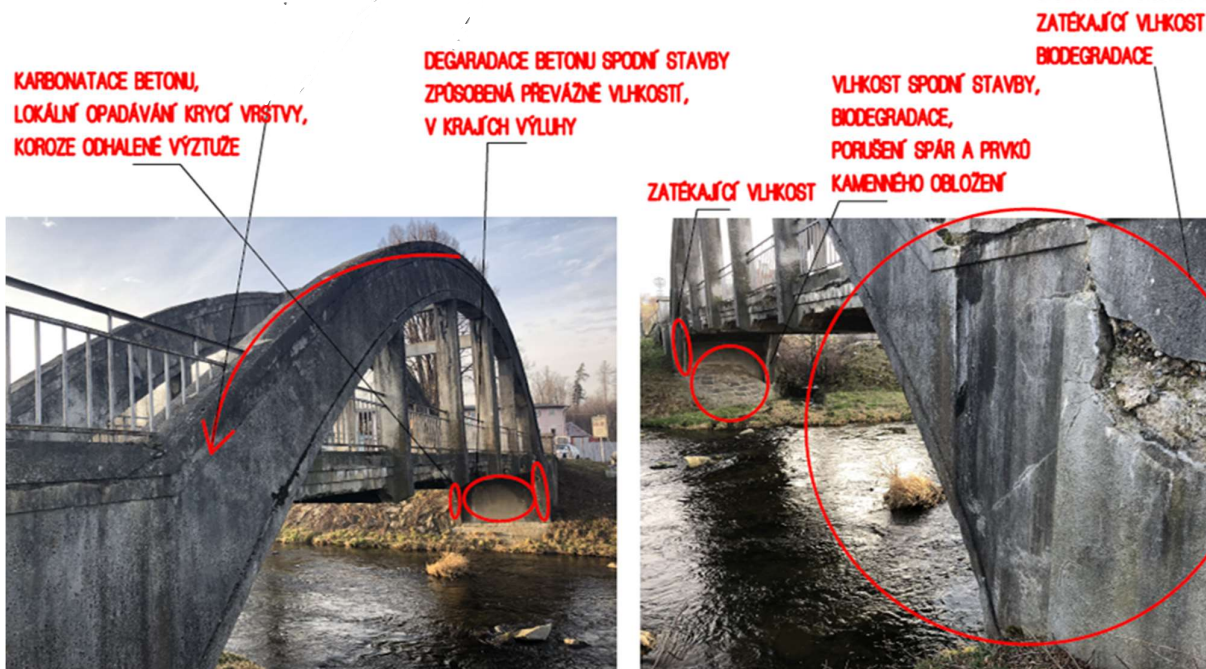
##### 8.4.2.1 Vizualní, fotodokumentace - předběžné průzkumy a zjištěné degradace

Na základě vizuálních prohlídek byly stanoveny následující poruchy:

###### Degradace spodní stavby:

U spodní stavby se projevuje výrazné působení vlhkosti a v jejím důsledku výskyt biodegradace. K viditelnému pronikání vlhkosti dochází zejména z mostovky a dále v části přechodu oblouku, kde již degradované mostní římsy neplní svou funkci. Opěry vykazují výrazné šikmé trhliny, průsaky vody a výluhy materiálu i jeho pojiva. Beton je místy silně zdegradován, křídla jsou popraskaná, rovněž hloubkově zdegradována, kamenné opěrné zdi v prodloužení křídel jsou bez pojiva, u levého křídla opěry 1 se ztrátou geometrie - částečně zřícené.

Nepřístupné části založení mostu nevykazují při prohlídce mostu zjevná poškození.



Obr. 168-169: Most v Jeseníku - degradace konstrukce

#### Degradace nosné konstrukce a obloukových žeber se závěsy a příčníky:

U všech nosných prvků konstrukce mostu dochází ke karbonataci betonu, k výskytům lokálních výluhů a opadávání povrchových vrstev, v jejichž důsledku se objevuje koroze obnažené výztuže. Problematické je řešení dilatační spáry uprostřed konstrukce, spára není utěsněná a umožňuje pronikání vlhkosti do mostovky. Na mostě pravděpodobně nebyla provedena izolace, resp. je nedostatečná a neplní svou funkci. U obloukových žeber se lokálně vyskytují mechy a řasy. V minulosti došlo k poškození jednoho z příčníků při průjezdu kamionu, který nesplňoval povolenou výšku průjezdu.

Degradace nosných konstrukcí je natolik závažná, že bylo nutné přistoupit ke snížení zatížitelnosti mostu.

Hlavní nosné žb oblouky jsou v relativně slušném stavu - lokálně je opadaná pouze krycí vrstva betonu (omítky). Na horním líci se projevuje biodegradace (porost mechou).

Stav žb trámové mostovky lze hodnotit jako katastrofální. Krycí vrstva výztuže absentuje i ve staticky exponovaných místech konstrukce, výztuž je částečně obnažená, silně zkorodovaná. Její stav se progresivně zhoršuje. Jestliže byl před pěti lety odhadnut úbytek výztuže do 30 % na základě HMP, dnes je to lokálně určitě 40 %. Most vykazuje okem viditelný pokles v místě střední dilatace. Příčník nad opěrou 1 je zničený (pravděpodobně nárazem) – praskliny jsou na obou stranách příčníku, drží jenom propojením výztuží.



### Mostní závěry:

Zcela nefunkční – příčné praskliny ve vozovce, především v polovině rozpětí.



Obr. 170 – 171: Most v Jeseníku - degradace nosných konstrukcí

### Degradace vozovky, chodníky, římsy:

Na mostě bylo provedeno několik vrstev vozovky, které postupně vytvořily určité nadvýšení mostovky a vůči tomu následné „snížení“ výškové úrovně mostních říms. Její horní líc je vzhledem k úrovni říms tak vysoko, že posypovou solí nasycená voda přetéká přes římsy a dlouhodobě ničí železobeton mostovky. Vozovka nemá příčný ani podélný spád. Je výrazně porušená, objevují se na ní rozsáhlé výmoly a trhliny, které umožňují zatékání do NK. Římsy jsou velmi degradované, dochází k opadávání povrchových vrstev a lokálně i větších kusů betonu. U mostu pravděpodobně nebyla provedena izolace, resp. je nedostatečná vzhledem k rozsáhlému výskytu průsaků na spodní straně nosné konstrukce.

Výše uvedené skutečnosti jsou natolik závažné, že je třeba ihned přistoupit k celkové rekonstrukci mostu. Po odkrytí vozovkových vrstev bude zjištěno, zda a případně v jakém rozsahu je na mostě provedena izolace. Dodatečné průzkumy a potřebné odběry vzorků budou prováděny současně při sanaci mostu.

Římsy jsou zdegradované porostlé mechem a částečně náletovou vegetací. Chodníky na mostě nejsou provedeny.



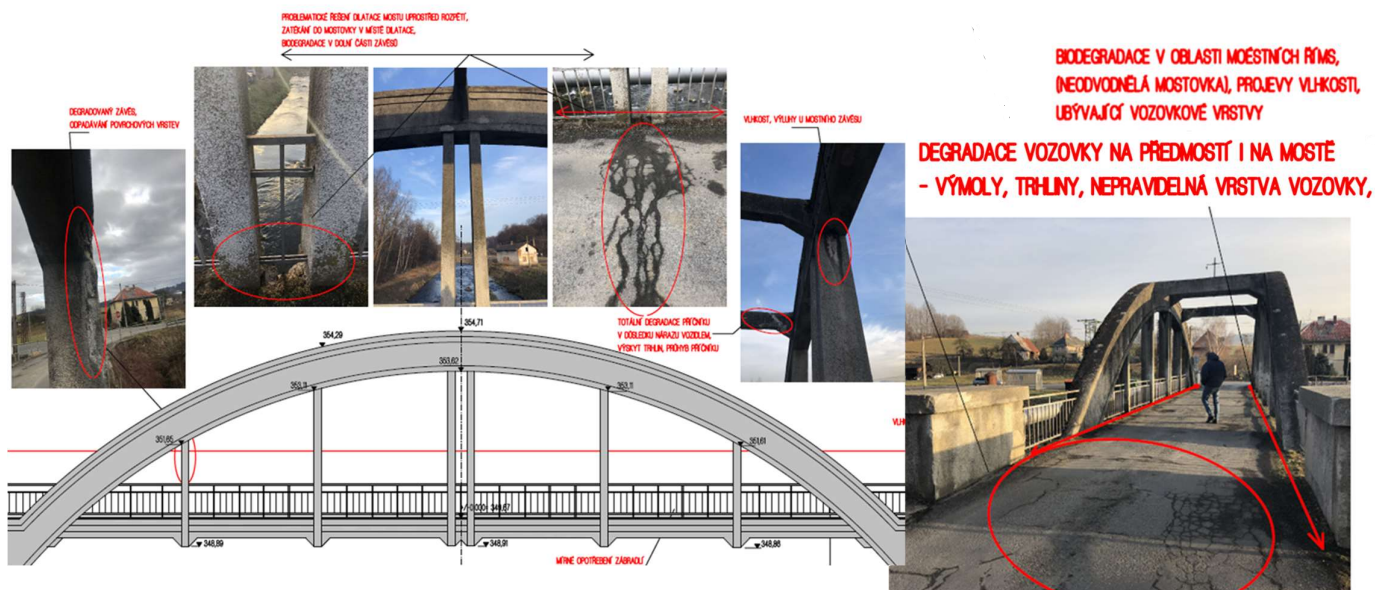
### Analýza izolačního systému:

Životnost izolačního systému již byla vyčerpána. V současnosti je zcela nefunkční. Do nosné konstrukce masivně zatéká. Dochází tak k degradaci betonu a korozi betonářské výztuže. Tyto skutečnosti mají zásadní vliv na snížení únosnosti nosné konstrukce. Projevy zatékání jsou nejvíce patrné na spodním líci NK viz fotodokumentace.

Je možné, že hydroizolace nebyla na některých místech provedena vůbec. Lze také polemizovat nad jejím úbytkem vzhledem k materiálové charakteristice. Dle prof. Wasserbauera bylo prokázáno, že např. u materiálů na bázi asfaltové emulze dochází v oblasti těsně pod hydroizolací k poruchám způsobených specifickou mikroflorou. Vyskytují se zde mikromycety a bakterie, které způsobují úbytek asfaltových izolací.

### Odvodňovací zařízení

Odvodňovače byly vesměs zaslepeny překrytím vozovkou – z osmi kusů částečně fungují dva. Svody pod mostovkou jsou zcela zkorodované.



Obr. 172 - 173: Degradace mostu/ mostovky

### 8.4.3 SHRNUTÍ PŘÍČIN PORUCH

- pronikání vlhkosti (atmosférická voda a hnaná větrem) v kombinaci s působením posypových solí
- chybějící/ nefunkční izolace
- potlačení původních příčných a podélných sklonů přidáním vozovkových vrstev a nepochopitelné zakrytí odvodňovačů
- přetěžování mostní konstrukce



#### 8.4.4 STRUČNÝ NÁVRH REKONSTRUKCE

Rekonstrukce mostu bude započata opravami na nosných částech – obloucích, závěsech, nosné konstrukci a mostního svršku. V poslední etapě budou budou opraveny navazující části – zábradlí, odvodňovací svody u opěrných zídek, přilehlých k mostu. V rámci oprav mostního svršku se přikročí k odfrézování vozovky na mostě a předmostích v celé šířce řešené části komunikace. Tato úprava bude probíhat za současného uzavření jízdního pruhu. Zároveň s vozovkou budou opravovány mostní závěry, dilatační a pracovní spáry. Poté se přistoupí k opravě dalších částí mostního svršku - mostní římsy (budou reprofilovány a zvýšeny dle současných normových požadavků) a navazující části mostovky, zábradlí včetně kotvení osvětlovacích těles. Následně bude provedeno nové souvrství vozovky na mostě a předmostí. [103,105,119,121,122,123]

**Izolace mostu:** na mostě se vyskytuje již nefunkční hydroizolace. Na nosnou železobetonovou konstrukci mostu bude proveden základní penetrační nátěr. Následně bude provedena vlastní vodotěsná vrstva. Je navržena aplikace elastomerního polyuretanu. U mostu bude provedeno analyzované souvrství HS1.

**Odvodnění:** za jeden z největších problémů mostu lze považovat jeho odvodnění. Na mostě nebyly nalezeny žádné odvodňovače a voda by měla být odváděna pouze spádově. Bohužel ani to zde nefunguje, neboť přidáním asfaltových vrstev nebyly řešeny spádové poměry ani návaznost na okolní komunikaci. Na předmostí se proto vytváří téměř „úžlabí“, kde se zadržuje většina vody. Vozovka bude proto vyrovnána dle navazující komunikace a na mostě bude vytvořen příčný (2%) a podélný spád (0,7%). Podél říms budou osazeny odvodňovače.

**Vozovka:** stávající souvrství bude u mostu nahrazeno novou skladbou V1 dle ČSN EN 13108-1,5,8

**Mostní závěry:** po odstranění stávající vozovky bude bezprostřední okolí závěrů upraveno pro osazení nového mostního závěru s jednoduchým těsněním spáry, např. CIPEC JEP.

**Nosná konstrukce, spodní stavba, žebrové oblouky, závěsy, příčníky, římsy:** Vzhledem k tomu, že nelze bezpečně stanovit stupeň narušení výztuže a její soudržnost s betonem, lze charakterizovat stav konstrukce jako špatný, nicméně je možné ho sanovat. Po otryskání nosné konstrukce a dalších prvků a odstranění nesoudržných částí omítky mostu, bude hlavní část opravy mostu spočívat v obnově části betonu u konstrukčních prvků do původně stanoveného tvaru a funkce. Pro tyto účely bude použita jednosložková suchá maltová objemově kompenzovaná směs s obsahem PP vláken, která je určena pro opravy betonu. V první řadě je třeba odstranění veškerých nesoudržných částí u jednotlivých prvků, které bude třeba takto reprofilovat. Korodující výztuž bude šetrně uvolněna a



zbavena korozních zplodin. Poté bude aplikován správkový materiál, referenční výrobek MONOCRETE PPE TH. Mostní římsy budou reprofilovány, resp. upraveny tak, aby došlo k jejich vyvýšení. Strukturální trhliny budou vyplněny epoxidovými pryskyřicemi s nízkou viskozitou. Pro hlubší trhliny bude použit systém pružné vodotěsné injektáže trhlin a vyplňování dutin, referenční výrobek SIKADUR a SIKA INJECTION. Po provedení výše uvedených prací na všech částech mostu a po předchozím vyčištění povrchu, bude aplikována ochrana betonu - vodoodpudivá impregnace na bázi reaktivního silanu.

Vzhledem k tomu, že stávající nosná konstrukce nevyhovuje požadavkům na zatížitelnost mostu, je navrženo zesílení nosné konstrukce pomocí CFRP vláken a především prostřednictvím železobetonové nadbetonované desky v průměrné tl. 150 mm, provedené ve spádu s nadvýšením. Poškozený příčník bude nahrazen příčníkem stejného profilu. [120,121,122,124]

**Lávka:** vzhledem k tomu, že na mostě se nevyskytují chodníky a není zde zajištěn bezpečný pohyb chodců (především dětí z nedaleké ZŠ), bude v těsné návaznosti na mostní území provedena lávka. Je navržena jako betonová předpjatá konstrukce, uložená na ložiskách umístěných na opěrách. Tvar lávky je navržen tak, aby nenarušoval současný pohled na stávající most a esteticky ho pouze "doplňoval". Opěry a hlavní nosná konstrukce lávky kopíruje tvar stávajících opěr a mostovky. Lávka se bude skládat celkem ze dvou polí s mezilehlým pilířem, nad kterým bude provedena dilatace obou desek. [117,118]



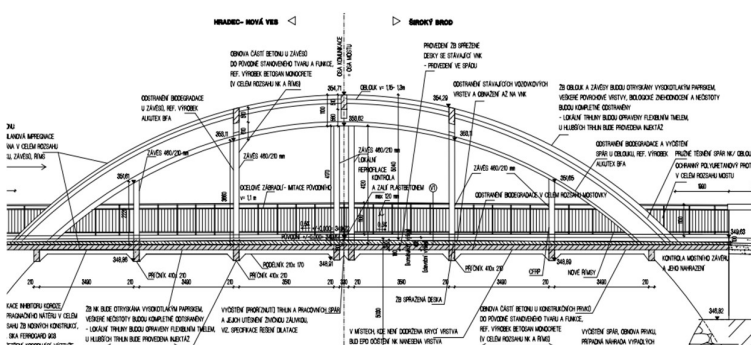
Obr. 174: Vizualizace mostu po rekonstrukci a realizace nové lávky (aplikace elastomerní polyurey)



### 8.4.5 ANALÝZA APLIKACE ELASTOMERNÍ POLYUREY

Na mostě bude aplikováno hydroizolační souvrství 1 (viz. předchozí kapitola) v celém jeho rozsahu. Toto řešení bude v kombinaci s vytvořením odvodnění mostu zaručovat odvedení vody a zamezení jejímu dalšímu pronikání do mostovky. Nebude proto nutné aplikovat další pečutí vrstvy apod., jelikož hydroizolační vrstva prokazuje dostatečné vlastnosti souvislé membrány. U tohoto mostu není navíc možné příliš zvyšovat výšku mostovky vzhledem k navazující komunikaci, což je jeden z důvodů preference tohoto řešení oproti např. asfaltovým pásům.

U lávky je navrženo hydroizolační souvrství 6 (viz. předchozí kapitola), tedy takové, kdy bude vrstva elastomerní polyurey aplikována přímo na lávku (po aplikaci penetračního nátěru). U lávky není třeba provádět pokládku asfaltu, vrstva elastomerní polyurey je plně pochozí a dokáže vzdorovat zatížení vozidlem údržby. Materiál vykazuje dle experimentální analýzy výbornou odolnost vůči UV záření na rozdíl od jiných polyuretanů, na které musí být často aplikována další ochranná vrstva, zabraňující fotooxidaci.



#### SKLADBA VOZOVKY DLE ČSN EN 13108

- VI VOZOVKA NA MOSTĚ (ve spádu)
- obrusná vrstva: ACO 16+...50 mm
  - POSTŘÍK ZVÍČNÝ SPOJOVACÍ ASFALTOVOU EMULZÍ 0,5 kg/m<sup>2</sup>
  - ochranná (ložní) vrstva: MA 11 IV...45 mm
  - SPOJOVACÍ MŮSTEK
  - VODOTĚSNÁ VRSTVA (ELASTOMERNÍ POLYUREA). 5 mm
  - PENETRAČNÍ NÁTĚR (pečutí vrstva)
- 
- CELKEM.....100 mm
- 
- ŽB SPRÁŽENÁ DESKA
  - STÁVAJÍCÍ ZESÍLENÁ NK

Obr. 175: Most v Jeseníku - skladba nové vozovky, návrh rekonstrukce

### 8.4.6 ZHODNOCENÍ REKONSTRUKCE A JEJICH RIZIKOVÝCH FAKTORŮ

Rekonstrukce ukazuje užití řady inovativních materiálů v praxi. Z hlediska analýzy hydroizolačních souvrství je velmi důležitým bodem aplikace souvrství HS1 (viz. předchozí kapitola) na mostě, jako jediné izolační vrstvy při současném provedení odvodňovacího systému mostu v náročných přírodních podmínkách Jeseníku. Aplikace HS6 (viz. předchozí kapitola) na lávce je „zatěžovací zkouškou“ materiálu, neboť bude aplikován bez následných ochranných vrstev, a navíc bude vystaven nadměrnému mechanickému zatížení. Vzhledem k tomu, že experimentální analýza potvrzuje odolnost vůči vlivům vnějšího prostředí a materiál je běžně užíván např. na střeších a bazénech, není důvod k obavám o zachování jeho funkce po vystavení vnějším podmínkám. Přímou pojižděnou izolace jsou však velmi náročné nejen z hlediska materiálového složení, ale především z hlediska provádění, což je zároveň největším rizikem aplikace. U řady běžných pojižděných materiálů je často dalším velkým rizikem pohyb podkladu, ke kterému v důsledku teplotní roztažnosti v případě lávek dochází. Analyzovaný materiál na rozdíl od konkurenčních izolací disponuje výbornou schopností přemostění trhlin. Při aplikaci je však nutné respektovat dilatační spáry a pokyny výrobce.



Tato studie také ukazuje, jaké následky může mít dlouhodobě zanedbaná údržba mostu, který je v současné době na hranici své fyzické i morální životnosti. Je třeba proto bezodkladně přistoupit k jeho generální rekonstrukci.

## 8.5 SHRNUTÍ APLIKACE ELASTOMERNÍ POLYUREY U MOSTŮ

Níže uvedená tabulka obsahuje shrnutí veškerých plánovaných či aktuálně uskutečňovaných experimentálních aplikací elastomerní polyurey. V tabulce je vždy uveden objekt a místo aplikace, na kterém bude materiál v rozdílném složení použit. Je možné, že po odkrytí stávající NK mostů dojde ještě k určitým modifikacím ve změně skladby vrstev dle aktuálního stavu, nicméně na základě provedených průzkumů a diagnostiky jednotlivých objektů lze předpokládat, že nejvhodnější variantou jsou již navržená (experimentální) souvrství.

U všech rekonstruovaných mostních objektů byly prakticky zjištěny stejné problémy, způsobující poruchy vedoucí mnohdy k fatálním důsledkům. Jedná se především o chybějící či nedostatečnou vrstvu hydroizolace, jejíž funkčnost již byla plně vyčerpána nebo mohlo dojít i k jejímu úbytku. Odvodňovače u všech těchto konstrukcí také již neplní funkci a jsou zanešené, což obecně odráží současný přístup k provádění základní údržby na mostech.

Experimentální aplikace hydroizolačních souvrství		
Objekt	Hydroizolační souvr.	Místo aplikace
Historický most v Rumburku	(HS3)	Rozšíření žb chodníku
Masarykův most v Kolíně	HS1 (objekt A,B,D)	mostovka
	HS5 (objekt C)	mostovka (zastřešení vodní elektrárny)
Anežský klášter (část střech)	HS6	část plochých střech místo stáv. asf. pásů
Historický obloukový most v Jeseníku	HS1	mostovka

Tab. 20: Experimentální aplikace hydroizolačních souvrství

## 8.6 DLOUHODOBÝ MONITORING EXPERIMENTÁLNÍ APLIKACE ELASTOMERNÍ POLYUREY <sup>[139]</sup>

### 8.6.1 Lávka v Praze 8

#### 8.6.1.1 Popis aplikace:

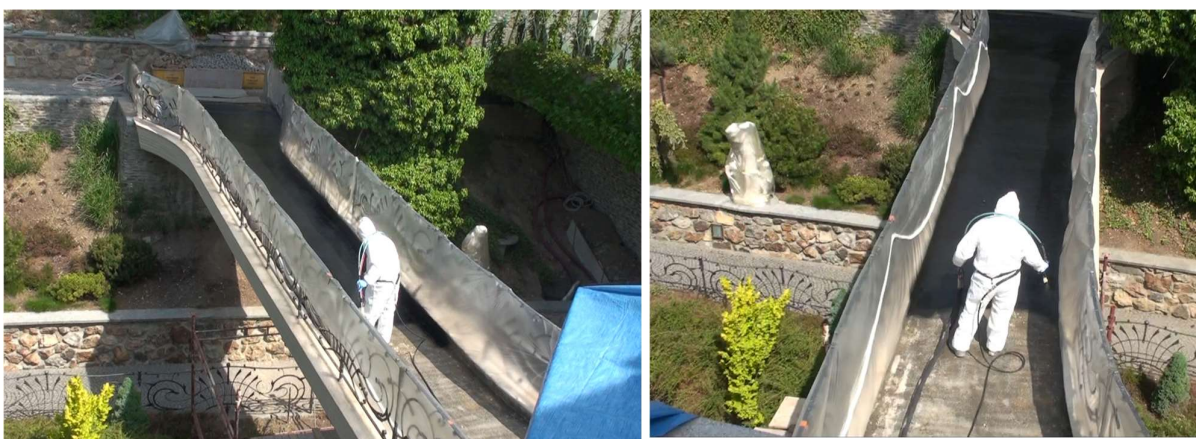
Jedná se o aplikaci elastomerní polyurey na lávce v Praze - Tróji. Subtilní konstrukce lávky je součástí residenčního areálu a propojuje obytný dům s protějším svahem. Jelikož se jedná o lávku, bylo zvoleno hydroizolační souvrství 6 (viz. předchozí kapitola) - hydroizolační materiál je současně pochozí vrstvou a musí tak odolávat veškerým účinkům vnějšího prostředí. Lávka je navíc





dimenzována na zatížení vozidlem údržby - jedná se totiž o jedinou přístupovou cestu od objektu k protějším svahu s kaskádami.

Materiál byl aplikován v září r. 2013 v dopoledních hodinách za polojasna/ jasna mimo období deštů. Povrch lávky byl nejdříve připraven pro aplikaci stříkané elastomerní polyurey na penetrační nátěr. Dle vizuální prohlídky byla aplikace úspěšná, došlo k vytvoření souvislého přídržného hydroizolačního povlaku v požadované tloušťce 5 mm. Po vytvrzení polyurea vrstvy byl povrch bez závad, neobjevovaly se zde žádné prohlubně či místa s nerovnoměrným nánosem. Pochozí byl již po 2 hodinách a plně zatížitelný po 24 h dle technických listů výrobce. Během aplikace byly dodrženy veškeré technické předpisy.



Obr. 176 – 177: Aplikace elastomerní polyurey na lávce v Tróji, r. 2013

#### 8.6.1.2 Monitoring aplikace:

Monitoring experimentální „pilotní“ aplikace na lávce v ČR byl zahájen ihned po jejím provedení. Současně byla aplikace na lávce hodnocena držiteli celosvětové licence, kteří v průběhu jednoho roku sledovali provedení každý měsíc, v dalších letech 4 x ročně až do současnosti.

Metodika monitoringu:

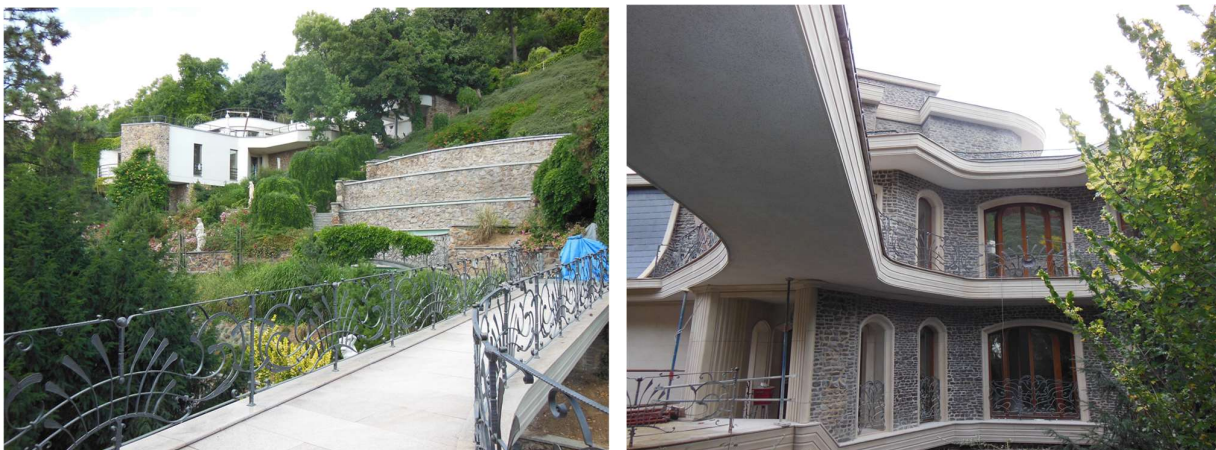
- vizuální hodnocení
- metoda akustického trasování
- termovize
- postup dle TP 164 a souvisejících ČSN (popis jednotlivých metod je součástí předchozí kapitoly)

#### 8.6.1.3 Výsledky a závěr monitoring aplikace:

Během let 2013 - 2020, ve kterých monitoring probíhal, nebyly zjištěny žádné skutečnosti, které by poukazyvaly na chybné provedení či ztrátu funkčních vlastností materiálu. Záruka aplikace je stanovena výrobcem na 5 let a s jistotou lze konstatovat, že ani po uplynutí této doby nebylo zjištěno žádné funkční porušení izolační vrstvy. Materiál i nadále plní funkci pružné a souvislé izolační



membrány, na lávce se nevyskytují žádné poruchy, které by poukazovaly na zatékající vodu. Dle provedených průzkumů in-situ je zřejmé, že materiál disponuje vysokou tažností, schopností přemostění trhlin a celkovou odolností vůči mechanickému poškození. Z estetických důvodů bylo na lávce provedeno kamenné obložení, současný stav je vidět na *Obr. 178 – 179*. Stav lávky je výborný a nevyskytují se žádné poruchy.



*Obr. 178 – 179: Stávající stav lávky, r. 2019*

## **8.6.2 Kaskády ve svahu, Praha 8**

### **8.6.2.1 Problematika aplikace materiálů**

Elastomerní polyurea byla aplikována v roce 2012 na železobetonové kaskády pro dešťovou vodu ve strmém svahu v Praze 8. Této aplikaci předcházela velmi problematická situace s výběrem materiálu, který by dokázal vzdorovat mimo běžných účinků vnějšího prostředí také expozici extrémních teplot na jižním svahu v Tróji a dále určitým posunům podloží svahu (jedná se převážně o jílovité břidlice, skalního podloží bylo dosaženo až ve 14 m).

Na jaře r. 2012 byl na kaskády aplikován izolační epoxidový materiál. Jeho aplikace probíhala nátěrem na penetrační podklad. Ihned po aplikaci bylo zřejmé, že nebylo docíleno barevného odstínu, který byl investorem požadován. Bohužel to nebylo jediným problémem, který tuto aplikaci provázel. Doba vytvrzení byla na rozdíl od technických listů výrobce cca až za 80 hodin, nicméně vrstva působila celistvě a došlo k rovnoměrné aplikaci materiálu. Během vizuálních prohlídek nic nenasvědčovalo vzniku dalších problémů, aplikaci bylo možné hodnotit jako kvalitně provedenou. Byla provedena při doporučených teplotách a za dodržení pokynů z technických listů stanovených výrobcem.

Během léta 2012, kdy naměřená teplota u kaskád na jižním svahu dosahovala až 40° C, nastala kritická situace. Vlivem extrémních teplot v tomto období došlo k oddělení izolačního systému od podkladu. Nátěrem aplikovaný povlak nedokázal odolávat provoznímu a teplotnímu namáhání a



došlo k jeho popraskání, resp. porušila se jeho celistvost. V první fázi došlo ke vniku „bublinek“, které se posléze zvětšovaly, nakonec vedly k totální destrukci izolačního systému - k jeho popraskání a odloupenutí.



Obr. 180 – 182: Problematická aplikace hydroizolačního materiálu na kaskádách v Praze Tróji, r. 2012

Poškozená vrstva epoxidu tedy byla následně odstraněna a nahrazena polyurea izolačním nátěrem typu Sika. Pravděpodobně vlivem další expozice vysokých teplot slunečního záření se během cca jednoho měsíce po aplikaci opakovala stejná situace. Izolační nátěr byl proto odstraněn.

#### 8.6.2.2 Experimentální analýza aplikovaných materiálů

Metodika analýzy:

- geodetické zaměření a sádrové terče
- odběr vzorků a laboratorní analýza

V rámci nápravy řešení se přistoupilo k podrobnější analýze podkladního povrchu. Bylo zjištěno, že během období červenec - srpen 2012, kdy byl na místě aplikován materiál typu Sika, nedocházelo k poklesu podloží a konstrukce (na konstrukci byla provedena kontrolní místa s osazenými sádrovými terči a hlavní vytyčovací body konstrukce byly během tohoto období geodeticky přeměřeny). Z výše uvedeného vyplývá, že degradace hydroizolačního materiálu nebyla způsobena pohybem podloží. Hlavní část příčin degradace proto byla přisouzena účinku vysokých teplot.

Na konci srpna 2012 již byly známé výsledky laboratorní analýzy železobetonových vývrtů z kaskád, které jasně prokázaly přítomnost penetračních materiálů předchozích aplikací i přesto, že byly po degradaci izolační vrstvy odstraněny. Penetrační materiály však pronikly hlouběji do vrstvy železobetonu.

Zejména prvotní penetrační materiál, který byl aplikován pod epoxidovou izolaci, vykazoval v laboratorních testech špatné mechanické vlastnosti v kombinaci s materiálem typu Sika, který byl aplikován jako druhý v pořadí. Jednalo se zejména o kriticky nízkou přídržnost k podkladu (žb trámeček) materiálu typu Sika, který byl aplikován na původní penetrační nátěr.



### Výsledky a závěr experimentální analýzy:

Experimentální analýza prokázala, že na degradaci izolační vrstvy typu Sika měla vliv kombinace následujících faktorů:

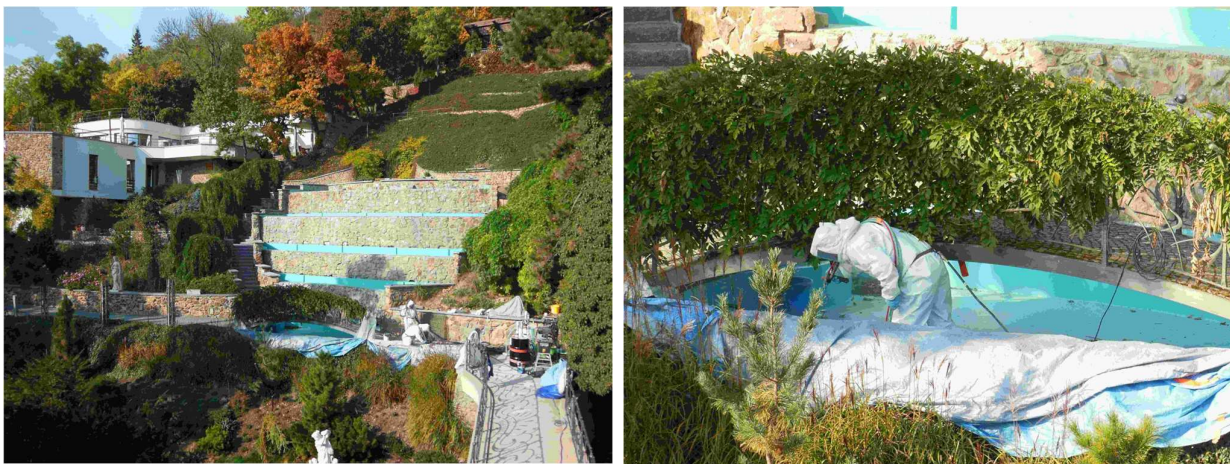
- účinek extrémních teplot
- materiál typu Sika neprokázal v laboratorních testech dostatečně velkou odolnost proti přímé expozici vysokých teplot slunečního záření.
- přítomnost původního penetračního materiálu

Původní penetrační materiál vykazoval v kombinaci s hydroizolačním materiálem velmi špatné mechanické vlastnosti. Materiál typu Sika není určen k použití v kontaktu s původním penetračním materiálem.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro danou situaci je nutné vybírat materiály se schopností odolávat účinkům vysokých teplot slunečního záření (ideálně takové, které nepodléhají fotooxidaci, resp. případně použít ochrannou UV vrstvu na hydroizolační materiál). Rovněž je důležité respektovat výrobcem navržená hydroizolační souvrství - materiálová řešení a podkladní povrch opravdu důkladně připravit před aplikací dalšího materiálu. Podstatnou roli hraje u tohoto typu staveb užívání materiálů, které vynikají flexibilitou, vysokou tažností a schopností „přemostění“ případných trhlin.

#### 8.6.2.3 Aplikace elastomerní polyurey

Po výše uvedených neúspěšných aplikacích bylo v říjnu r. 2012 rozhodnuto o aplikaci elastomerní polyurey v tl. 3 mm. Aplikaci předcházela důkladná příprava kaskád v podobě obrusu povrchové vrstvy. Následně byl aplikován penetrační materiál, vhodný pro elastomerní polyureu. Jedná se v podstatě o hydroizolační souvrství 6 (viz. předchozí kapitola), neboť analyzovaná elastomerní polyurea je přímo vystavena účinkům vnějšího prostředí. Pro aplikaci byl zvolen přídatný pigment, který je patrný ze snímků níže. Aplikace proběhla za téměř jasného počasí a ideálních teplotních podmínek. Po vytvrzení polyurea vrstvy byl povrch bez závad, neobjevovaly se zde žádné prohlubně či místa s nerovnoměrným nánosem. Pochozí byla již po 2 hodinách a plně zatížitelná po 24 hodinách dle technických listů výrobce. Během aplikace byly dodrženy veškeré technické předpisy.



Obr. 183 – 184: Aplikace elastomerní polyurey na kaskádách, r. 2012

#### 8.6.2.4 Monitoring aplikace:

Aplikace byla monitorována ihned po jejím provedení v roce 2012 až v podstatě do současnosti společně s výše uvedenou případovou studií lávky.

Metodika monitoringu:

- vizuální hodnocení
- metoda akustického trasování
- termovize

(popis jednotlivých metod je součástí předchozí kapitoly)

#### 8.6.2.5 Výsledky a závěr monitoring aplikace

Během let 2012 - 2020, kdy monitoring probíhal, nebyly zjištěny žádné skutečnosti, které by poukazovaly na chybné provedení či ztrátu funkčních vlastností materiálu. Záruka aplikace je stanovena výrobcem na 5 let a s jistotou lze konstatovat, že ani po uplynutí této doby nebylo zjištěno žádné funkční porušení izolační vrstvy. Materiál i nadále plní funkci pružné a souvislé izolační membrány. Dle průzkumů in-situ je zřejmé, že materiál disponuje vysokou tažností, schopností přemostění trhlin a celkovou odolností vůči mechanickému poškození. Velmi podstatným poznatkem je skutečnost, že materiál je vystaven účinkům vysokých teplot slunečního záření na jižním svahu a na povrchu není patrné poškození jako v předchozích případech. Materiál se vyznačuje pigmentovou stálostí - pokud by však za nějakou dobu došlo ke ztrátě barevného odstínu, je možné použít ochranný UV materiál, který dokáže zvýraznit původní odstín.



### 8.6.3 Nádrže na dešťovou vodu a koi kapry

#### 8.6.3.1 Popis aplikace:

V roce 2015 byla aplikována elastomerní polyurea na nádrže zachycující dešťovou vodu ve svahu a další bazény. Jednalo se mimo jiné o dvě nádrže, které jsou určené pro chov koi kaprů, proto bylo třeba zvolit materiál, který není zdravotně závadný a bylo nutné zajistit osvědčení materiálu na pitnou vodu. Materiál byl aplikován na těchto nádržích v rozmezí března - června 2015 v tloušťce 2 - 3 mm u každé nádrže. Příprava povrchu odpovídala výše uvedeným technickým požadavkům výrobce. Nádrže jsou umístěné na jižním svahu v Tróji, proto je třeba zajistit, aby materiál odolával působení vysokých teplot a fotooxidaci. Materiál byl aplikován na základě získaných zkušeností a výsledků dlouhodobého monitoringu z předchozích akcí, kde byla řešena obdobná situace.



Obr. 185 – 189: Aplikace elastomerní polyurey v nádržích, r. 2015

#### 8.6.3.2 Monitoring aplikace:

Aplikace byly monitorovány ihned po provedení od roku 2015 až v podstatě do současnosti.

Metodika monitoringu:

- vizuální hodnocení
- metoda akustického trasování
- termovize

(popis jednotlivých metod je součástí předchozí kapitoly)



### 8.6.3.3 Výsledky a závěr monitoring aplikace

Jednalo se o velmi atypické aplikace, u kterých bylo nutné se vypořádat jednak s nestandardním tvarem nádrží, požadavky na pitnou vodu, a především s účinkem extrémních teplot, které v posledních letech v letních měsících panují. Z výše uvedených důvodů a na základě předchozích zkušeností bylo rozhodnuto o aplikaci elastomerní polyurey, kterou je možné provést na jakémkoliv podkladu a tvaru konstrukce. Materiál vykazuje vysokou odolnost vůči teplotnímu a mechanickému zatížení. Od aplikace nebyly pozorovány žádné poruchy izolační vrstvy ani konstrukcí nádrží, kde byl aplikován. Povrch izolace působí celistvě a plní svou funkci bez výhrad.



Obr. 190: Aplikace materiálu na nádrži



Obr. 191: Stávající stav nádrže po aplikaci, r. 2019

### 8.6.4 Plochá střecha, Klánovice

#### 8.6.4.1 Problematika aplikace:

V případě této aplikace se nejedná o příklad úspěšné aplikace či provádění, ale spíše o řešení problematické činnosti. Aplikace elastomerní polyurey byla provedena na jaře v roce 2015 jako izolační vrstva ploché střechy objektu v Klánovicích, která měla být následně zasypána kačirkem. Ihned po aplikaci nepůsobila vrstva celistvě, povrch nebyl rovinný a vyskytovalo se na něm větší množství bublinek. Již po několika dnech od aplikace došlo k totální delaminaci vrstvy, která se začala samovolně odlupovat na velkém rozsahu aplikované plochy.



Obr. 192 - 193: Nekvalitní aplikace materiálu

#### 8.6.4.2 Výsledky experimentální analýzy

Laboratorní analýzou bylo prokázáno, že při aplikaci byly pravděpodobně z finančních důvodů hlavní složky A, B z velké části nahrazeny pigmentem, který v žádném případě nevykazuje srovnatelné fyzikální a hydroizolační vlastnosti, naopak dochází k určitému „ředění“ výsledné směsi. U takto připraveného materiálu dochází jednak k delší době vytvrzení a ke snížené přilnavosti k podkladu, jednak k výraznému zhoršení v podstatě všech vlastností.

Dle dalšího šetření bylo zjištěno, že aplikace byla provedena nejmenovanou aplikační firmou, která není držitelem certifikátu a neabsolvovala autorizovaná školení výrobcem. Aplikační firma navíc nedisponuje vysokotlakým zařízením, tudíž nemohlo být dosaženo ani hmotnostního poměru 1:1, který je požadován výrobcem. Jak je patrné z výše uvedeného snímku, zásadním problémem je také absolutní podcenění přípravy podkladu - je zde zřejmý výskyt nesoudržných částí. Povrch nebyl zbaven nečistot a pravděpodobně nedošlo k aplikaci požadované, resp. žádné vrstvy primeru (penetračního nátěru). Na vzniklé situaci se tedy podílely následující faktory:

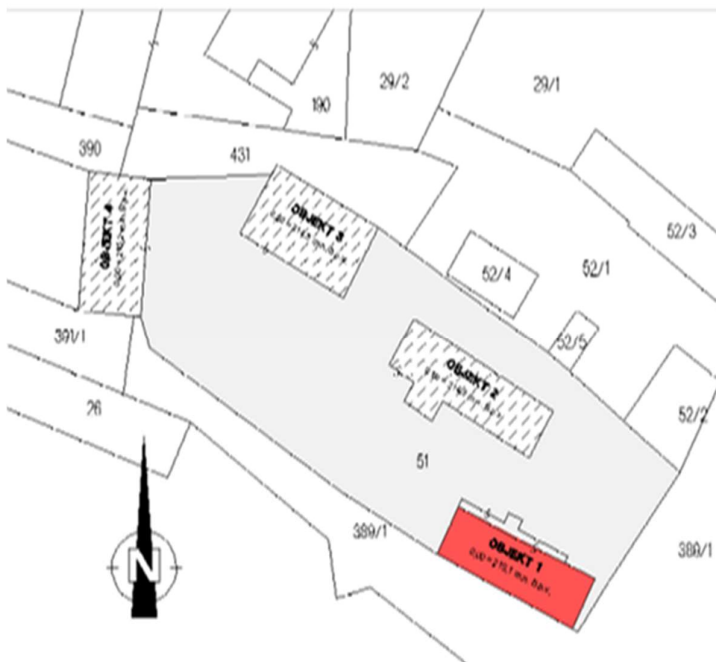
- aplikace materiálu neproškoleným aplikátorem bez příslušného vybavení
- zásadní nedodržení technických požadavků výrobce.





### 8.6.5 Historická zemědělská usedlost Horky nad Jizerou [125,126,127]

#### 8.6.5.1 Popis objektů usedlosti a jejich poruch



Obr. 194: Situace areálu historické zemědělské usedlosti

Jedná se o historickou zemědělskou usedlost v obci Horky nad Jizerou v okrese Mladá Boleslav, Středočeský kraj. Založení tvrze je datováno od 14. století, na jejím místě byl od 16. století postupně budován statek. Tvrz se nachází na vyvýšeném kopci. Součástí areálu jsou celkem čtyři objekty - dva původně obytné a dvě stodoly, dotvářející horizont obce již po mnoho desetiletí. Nejedná se o památkově chráněný objekt, nicméně obec má velký zájem na jeho obnově.

Na objektech tvrze probíhají dlouhodobě degradační procesy, které mají zásadní vliv na jejich téměř havarijní stav.

#### Analýza vlhkosti:

- vlhkost a salinita: pronikání vody z přilehlého terénu u objektu 1, vztlínající voda vzhledem k absenci hydroizolace u všech objektů, voda srážková (stékající voda a voda hnaná větrem), zatékání (degradace vlivem degradované střešní krytiny a oplechování). Vzhledem k transportním vlastnostem vody, a hygroscopicitě zdiva, dochází k zvýšenému zasolení objektů.



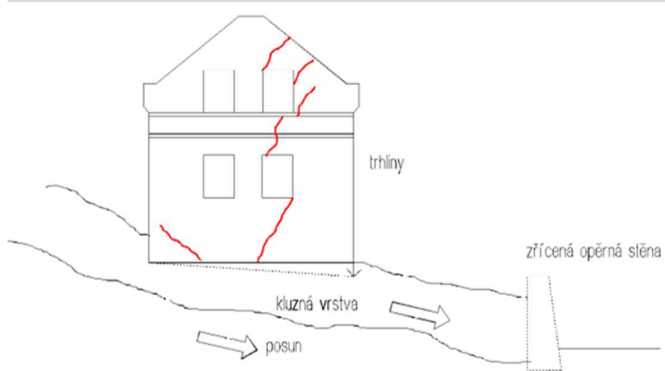
Obr. 195 – 196: Projevy vlhkosti, obj.1, Obr. 197: Projevy vlhkosti, obj.2



**Problematická geotechnická situace (zřícení opěrné zdi, sedání základů v kombinaci s jejich podmáčením):** geologický profil v této oblasti tvoří ve spodních vrstvách vápnité jílovce, slínovce a prachovce, podřadně vložky jílovitého vápence. Vrchní vrstva je tvořena jílovitou hlínou o mocnosti minimálně 2-3 m (F2, F3). Jílovce poskytují pouze podmíněčně vhodnou základovou půdu, kterou je nutno hodnotit individuálně s ohledem na jejich plasticitu a konzistenci a na stabilitu území. Pomocí vrtných sond bylo prokázáno, že se ve vrchních vrstvách objevují jílovité hlíny tuhé a ojediněle až měkké konzistence - v oblasti opěrné stěny u objektu 2 a 3, na které byly založeny. Vlivem opomenutí informací v geologickém prostředí, mocnosti jednotlivých vrstev zeminy a nedostatečném statickém posouzení byla v minulosti opěrná stěna na severní hranici objektu chybně založena. Její únosnost nebyla pravděpodobně dimenzována na působící aktivní zemní tlak. V kombinaci se špatně odvedenou povrchovou vodou z usedlosti, která měla přímý vliv na posuv půdy, došlo ke zřícení opěrné stěny. V důsledku zřícení původní kamenné opěrné stěny, které nastalo cca před 10 ti lety, došlo k nadměrnému nerovnoměrnému poklesu základů všech objektů. Tato relativní deformace základů se viditelně projevuje i na svislých konstrukcích trhlinami. Vzhledem k tomu, že v areálu usedlosti nikdy nebyl proveden odvodňovací systém, neustále dochází ke snížení únosnosti základové půdy podmáčením a vyplavováním jemných částí jílovité zeminy. Vlivem podmáčení dochází nejen k posunu základové půdy, ale i základů, což vyvolává poruchy na svislých konstrukcích. [27,30]



Obr. 198: Zřícení opěrné zdi



Obr. 199: Schéma poruch objektu 1 v důsledku zřícení opěrné zdi

- **požár:** v době, kdy došlo k neoprávněnému užívání objektu 2 předchozím majitelem, vypukl požár. Poškození extrémním teplotním zatížením mělo v konečném důsledku vliv i na stabilitu objektu.
- **degradace dřevěných konstrukcí:** stavebně technický průzkum prvků stropní konstrukce prokázal rozsáhlé známky biotické destrukce u objektů 1 a 3. Na destrukci dřevěných prvků mělo značný podíl působení biotických činitelů, z nichž nejzásadnější je voda od zatékání.

### 8.6.5.2 Experimentální analýza

Na základě provedení stavebně technického průzkumu a průzkumu in-situ bylo rozhodnuto o místě odběru vzorků pro experimentální a laboratorní analýzu. V následující části práce jsou



uvedeny pouze zásadní výsledky analýzy vzhledem k jejímu velkému rozsahu. Analýza byla prováděna v letech 2013-2015.

### Analýza vlhkosti a její výsledky:

Byly celkem odebrány čtyři vzorky u nosných konstrukcí, které byly provedeny ze smíšeného zdiva s převahou kamene. Tři vzorky byly odebrány z objektu 1 (č. 1, 2 a 3), dále jeden vzorek z objektu 4 (č. 4). Pro analýzu byla použita gravimetrická metoda v souladu s platnými normami ČSN EN 1097-5, ČSN EN 772-10, ČSN EN ISO 12570. U dřevěných konstrukcí byla vlhkost stanovena pomocí vlhkoměru na dřevěné konstrukce. Celkem bylo měření provedeno ve třech oblastech u stropních konstrukcí a ve třech oblastech u konstrukcí krovu.

VLHKOSTNÍ PRŮZKUM		
číslo vzorku	vlhkost zdiva (% hm)	hodnocení vlhkosti
vzorek č.1	8	vysoká
vzorek č.2	6,8	zvýšená
vzorek č.3	3,8	nízká
vzorek č.4	3,1	nízká

Tab. 21-22: Výsledky vlhkostní analýzy objektů, (březen 2015)

VLHKOST DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ		
MÍSTO ODBĚRU	oblast vzorku č.	VLHKOST %
VODOROVNÉ KCE	11	24,3 25,8 22,9 26,3
	12	11,2 12,4 11,9 13,1
	13	38,2 39,6 40,1 39,8
STŘEŠNÍ KONSTRUKCE	14	16,2 15,4 16,8 15,1
	15	17,1 16,9 17,8 16,4
	16	58,2 60,4 59,5 60,8

### Chemická analýza stavebních konstrukcí:

S vlhkostí se ve zdivu současně pohybují rozpustné soli, které mají schopnost na sebe vázat vzdušnou vlhkost a zasolené stavební materiály se stávají hygroskopické a projevují se jako vlhké. Mezi velice závažné problémy patří koroze zdiva, způsobená hydratačními a krystalizačními tlaky při změně krystalické formy solí. Během této analýzy byla zjišťována přítomnost níže uvedených rozpustných solí.

Největší obsah dusičnanů byl u objektu 2 (0,76 % - velmi vysoký), neboť objekt sloužil v minulosti k ustájení dobytka. U všech vzorků byl zjištěn zvýšený obsah chloridů (0,095 - 0,11 %), další soli vykazovaly pouze nízký stupeň.

### Mykologický průzkum:

Odebrané vzorky byly analyzovány mikroskopicky. Vodorovná konstrukce objektu 1 je napadena bílou voštinovou hnilobou a konstrukce krovu je u obou objektů napadena tesaříkem krovovým (v rozsahu 3A), tesaříkem fialovým (2A) a červotočem proužkováným (1).



### 8.6.5.3 Rekonstrukce usedlosti

Od roku 2016 průběžně probíhá rozsáhlá rekonstrukce jednotlivých objektů usedlosti na základě návrhu stanoveného na základě výše uvedených průzkumů. Mezi hlavní body provedené rekonstrukce patří:

- trysková injektáž a podchycení základů objektů, realizace opěrné zdi na hranici pozemku, provedení nových dřevěných konstrukcí u objektu 1 a 3, provedení spřažení a zesílení svislých konstrukcí u objektu 1 a 3, sanace zasolení a zvýšení vlhkosti, pro kterou byla jako hydroizolace využita aplikace elastomerního polyuretanu.

### Aplikace elastomerní polyurey

V případě aplikace elastomerní polyurey se jednalo o doplňkovou metodu pro zajištění komplexního působení dalších sanačních opatření na odstranění vlhkosti. U objektu 1 byla vzhledem k poloze JZ zdi objektu pod úrovní terénu zvolena rubová injektáž a dále horizontální clona u objektů 1 a 4. V rozsahu celé usedlosti byl proveden nový drenážní systém.

Elastomerní polyurea byla aplikována u objektů 1 a 4, kde bude sloužit jako hydroizolace. Nástřik byl proveden rovnoměrně v celém rozsahu 1.NP u obou objektů v tl. 2 - 3 mm. Při aplikaci byly dodrženy veškeré technické předpisy. Aplikace proběhla v létě r. 2015 za ideálních venkovních podmínek.

Součástí objektu 2 je nově provedená venkovní terasa, u které byla rovněž aplikována elastomerní polyurea jako hydroizolační vrstva. Aplikace byla provedena na podzim 2015, viz. *Obr. 201 - 204*)



*Obr. 200: Původní stav objekt 1  
Obr. 201: Historická usedlost Horky nad Jizerou - aplikace elastomerního polyuretanu, objekt 1*



*Obr. 202 - 204: Aplikace elastomerní polyurey na terase v Horkách nad Jizerou, objekt 2*



### Monitoring aplikace:

Monitoring aplikace probíhal bezprostředně po jejím zhotovení od roku 2016 do současnosti. Ihned po aplikaci působil povrch celistvě bez závad, aplikovaný materiál byl rovnoměrný. Tato aplikace byla specifická zejména tím, že se jednalo o první provedení tohoto materiálu v historickém objektu.

### Metodika monitoringu:

- vizuální hodnocení
- metoda akustického trasování
- termovize

(popis jednotlivých metod je součástí předchozí kapitoly)

### Výsledky monitoringu aplikace:

Na základě aktuálních výsledků lze konstatovat, že po čtyřech letech od aplikace je hydroizolace na všech místech neporušená, celistvá a stále plní svou funkci. V oblastech, kde byla provedena celková sanace byla přeměřena vlhkost po dvou letech od aplikace - bylo zjištěno, že vlhkost se snížila o 70%. U objektů se nevyskytly žádné další poruchy, které by nasvědčovaly disfunkci navrženého sanačního opatření.

### **8.6.6 VIADUKT CINTA COSTERA III, Panama City, Panama** [142]

Tato případová studie vznikla za spolupráce s výrobcem materiálu elastomerní polyurey v rámci dlouhodobé analýzy a vzájemného poskytování výsledků experimentů i sdílení nových zkušeností či podmětů. Jedná se o unikátní projekt, kdy byl materiál aplikován na známý viadukt Cinta Costera, který je součástí třetí fáze projektu pobřežního pásu s cílem zlepšit dopravní tok přes město Panama. Viadukt obklopuje místo světového dědictví - archeologické naleziště Panamá Viejo a historický okres Panamá v rámci UNESCO.



Obr. 205 – 206: Viadukt CINTA COSTERA III [142]



### 8.5.6.1 Popis konstrukce a jejich poruch, problematika aplikace

Viadukt tvoří 200 ocelobetonových pilířů na pobřeží města Panamy, které jsou vlivem stálé expozice slané vody značně zkorodované. Jelikož mostní pilíře se nacházejí v přílivové oblasti, musely být opravy dokončeny během osmi hodin mezi odlivem a přílivem.

### 8.5.6.2 Popis aplikace

Pro přípravu povrchu bylo využito třech jednotek Ecoquip EQ400T abrazivního čištění typu Barton Garnet. Toto vlhké abrazivní tryskání je velmi ekologická varianta vzhledem k umístění konstrukce. Povrch byl připraven na čistotu SP-10. Následně byl povrch vysušen. Pro aplikaci na pilířích se použití analyzované elastomerní polyurey jeví jako velmi vhodné vzhledem k tomu, že je schopen vydržet extrémní podmínky prostředí. Materiál byl aplikován na všechny pilíře v tloušťce cca 1,6 mm. Aplikací došlo ke kompletnímu překrytí pilířů a byla tak vytvořena monolitická bariéra. Vlastní aplikace probíhala z lešení. Nejčastější pracovní postup byl takový, že se pracovalo současně na dvou pilířích za využití jednoho reaktoru.

Vzhledem k časovému limitu dvou hodin na přípravu/ úklid a šesti hodin na aplikaci byla volba elastomerní polyurey v kombinaci s vlhkým čištěním povrchu jako téměř jediné řešení. Suché čištění povrchů v kombinaci s např. epoxidovým povlakem by nebylo efektivní z důvodu vysoké kontaminace a především omezeného času, který byl k dispozici.



*Obr. 207 - 211: Viadukt CINTA COSTERA III, původní stav, osazení lešení a provádění aplikace elastomerní polyurey, Obr. 204: Současný stav po aplikaci elastomerní polyurey [142]*





### **Monitoring aplikace:**

Monitoring aplikace započal v loňském roce a dle dostupných zdrojů lze aplikaci označit za velmi úspěšnou. Na mostě nedochází k žádnému dalšímu rozvoji ani vzniku nových poruch, způsobených vlhkostí, resp. slanou vodou. Aplikace eslatomerní polyurey tak zabránila dalšímu progresivnímu působení koroze u pilířů.

### **8.7 VYHODNOCENÍ APLIKACE, RIZIKOVÉ FAKTORY**

Výše uvedené případové studie byly provedeny pro ověření účinnosti aplikace elastomerní polyurey exaktním způsobem. Ačkoliv v podstatě neexistuje normová metodika, která by stanovila účinnost aplikace hydroizolačního materiálu u pozemních staveb, a především významnou roli při posuzování hraje lidský faktor, byl kladen důraz na prokázání kvality aplikace objektivním způsobem in-situ a při provádění kontrolních zkoušek bylo postupováno dle TP 164 (a souvisejících ČSN), které řeší kontrolu a zkoušení provedení hydroizolací u mostů. Z tohoto důvodu probíhal dlouhodobý monitoring u jednotlivých aplikací i po delší dobu, než je výrobcem stanovená jako záruční.

Z analyzovaných studií a získaných zkušeností vyplývá, že hlavním faktorem úspěšné aplikace je její provedení zkušeným certifikovaným aplikátorem za dodržení veškerých technických předpisů, tzn. především zachování poměru míchání směsí, aplikace vysokotlakým zařízením při vhodných okolních podmínkách na řádně připraveném povrchu. Tyto požadavky patří zároveň mezi nejvíce rizikové, jak vyplývá z neúspěšné aplikace na ploché střeše.

Jedna z případových studií ukázala problematiku aplikace jiných hydroizolačních materiálů, jejichž technické vlastnosti neodpovídaly požadavkům náročného prostředí aplikace.

Celkově lze aplikace hodnotit jako velmi účinné, neboť exaktní metody monitoringu prokázaly, že i po několika letech od aplikace nedochází ke ztrátě funkčních vlastností vrstvy, hydroizolace vytváří celistvou membránu a nedochází ke vzniku poruch, způsobených průnikem vody do konstrukcí. Hydroizolační elastomerní polyurea splňuje svou funkci i na místech, kde předchozí systémy určitým způsobem selhaly a elastomerní polyurea byla vystavena extrémním vnějším podmínkám - jako jsou teploty a jejich výkyvy, sedání konstrukce či teplotní roztažnost konstrukce. Účinnost v oblasti snížení vlhkosti u poslední zmiňované aplikace však nelze jednoznačně prokázat ve prospěch elastomerní polyurey, neboť se jedná o poruchy způsobené kombinací více faktorů. Nicméně i v tomto případě lze aplikaci považovat za úspěšnou, neboť jako při předchozích aplikacích izolační vrstva vykazovala kvalitní vlastnosti, nedochází k jejich zhoršení ani k výskytu poruch.



Dlouhodobý monitoring experimentální aplikace			
Objekt	Hydroizolační souvrství	Místo aplikace	Výsledky monitoringu, r.2020
Lávka v Praze 8	HS6, aplikace r. 2013	mostovka	bez závad
Kaskády ve svahu	HS6, aplikace r. 2012	povrch kaskád	bez závad
Nádrže na dešťovou vodu a koi kapry	HS6, aplikace r. 2015	povrch nádrží	bez závad
Plochá střecha Klánovice	necertifikovaná aplikace	plochá střecha (vrchní vrstva)	chybná aplikace
Historická zemědělská usedlost	Hydroizolace 2 objektů, r. 2015	spodní stavba	bez závad
	Hydroizolace objektu, r. 2015	terasa	bez závad

Tab. 23: Výsledky dlouhodobého monitoringu experimentální aplikace





## 9 VYHODNOCENÍ/ ZÁVĚR

- Přínosem disertační práce jsou především výsledky terénních a laboratorních průzkumů, na jejichž základě byly navrženy způsoby rekonstrukce jednotlivých staveb s využitím vhodných tradičních či moderních hydroizolačních metod. Jedná se o příklady použití tradičních a moderních technologií při rekonstrukci historických objektů.

- U části památkově chráněných objektů a mostů byla navržena citlivá rekonstrukce se snahou o zachování autenticity materiálového řešení, u dalších historických objektů a mostů byly navrženy moderní technologie se zaměřením na analýzu možnosti použití analyzovaného hydroizolačního materiálu na bázi elastomerní polyurey.

- Vlastnosti hydroizolačního materiálu elastomerní polyurey byly nejdříve experimentálně ověřovány v laboratoři a posléze in-situ na základě aplikace na několika vybraných stavbách. Dosud provedené experimentální analýzy materiálu prokázaly jeho výborné hydroizolační i fyzikální vlastnosti. Analyzovaný materiál lze proto považovat za velmi vhodnou hydroizolační vrstvu, jak u historických objektů, tak i mostů.

- V rámci experimentální analýzy byly ověřovány vlastnosti nově navržených hydroizolačních souvrství, u kterých výsledky provedených experimentů předurčují použitelnost materiálu pro mosty. V dnešní době je mimo vlastní materiálové vlastnosti velkou výhodou i rychlost aplikace těchto materiálů. Je však třeba předejít problémům s jejich aplikací, degradacemi a kompatibilitou. V práci je proto snaha o řešení této problematiky a vytvoření ukázek jejich úspěšných způsobů aplikace a různých skladeb.

- Hlavním výstupem práce je optimalizace návrhu provádění stavebně technických průzkumů historických objektů a mostů, ukázky návrhu a provádění tradičních i moderních sanačních metod a experimentální analýza vybraného hydroizolačního materiálu na bázi elastomerní polyurey, jehož vlastnosti jsou porovnávány s jinými hydroizolačními materiály. Vlastnosti jiných vybraných hydroizolačních materiálů jsou demonstrovány na reálných ukázkách konkrétních staveb.

- Níže jsou stručně shrnuty prezentované hlavní případové studie s uvedením zásadních či nestandardně používaných technologických postupů při rekonstrukci.

Disertační práce je především zaměřena na analýzu hydroizolačních technologií, které jsou shrnuty v *Tab. 24* vybrané návrhy a realizace aplikací. Tabulka obsahuje i subjektivní hodnocení účinnosti provedených aplikací na základě provedených průzkumů a dlouhodobého monitoringu. U obory Hvězda a historického mostu v lokalitě Portz Insel již proběhla aplikace tradičních hydroizolačních technologií, které lze hodnotit jako účinné a současně velmi preferované z hlediska památkové péče. Lze konstatovat, že po uplynutí první zimy a téměř dvou let od obnovy historické obvodové zdi obory Hvězda je hydroizolační opatření hodnoceno jako 100 % zlepšení původního stavu. U historické zdi nedochází k žádným projevům vlhkosti obvodového zdiva. Po téměř jednom



roce od aplikace hydroizolačních opatření lze označit, že výběr metod byl správný. U novějších objektů, kde byla experimentálně aplikována vrstva elastomerní polyurey nedochází k žádným průsakům a konstrukcí či ke vzniku poruch způsobených vlhkostí.

#### **OBNOVA HISTORICKÉ OBVODOVÉ ZDI OBORY HVĚZDA (tradiční technologie)**

- provedení zdiva jako emplekton, zastřešení jeho koruny vyrobenou cihlou - zvonivkou
- aplikace speciální trasvápenné malty, dilatace trvale pružným tmelem
- provedení pažení, odvodnění a izolace z bentonitových rohoží

#### **REKONSTRUKCE ŠLIKOVA HRÁDKU (FREUDENSTEIN) A PŘÍRODNÍHO AMFITEÁTRU (moderní+ tradiční technologie)**

- ukázka mnohdy problematické spolupráce s NPÚ ovlivňující finální podobu rekonstrukce
- spárování kamenného zdiva, plombování, dozdivání
- provedení omítek na historické bázi (trasvápenné)
- provedení dřevěné vestavby a krovu na základě rekognoskace původního historického řešení

#### **REKONSTRUKCE HISTORICKÉHO MOSTU V LOKALITĚ PORTZ INSEL (tradiční technologie)**

- hydrofobizace povrchu cihel
- provedení mlatové vrstvy na hlinitokamenitém zásypu s jílovou izolací
- výroba původních cihel, repliky nákolníků a odvodňovačů

#### **REKONSTRUKCE OBJEKTU Č. P. 73 (CÍSAŘSKÝ ŠPITÁL SV. ANTONÍNA) V KANOVNICKÉ ULICI NA PRAŽSKÉM HRADĚ (moderní + tradiční technologie)**

- sanace vlhkosti, odstranění nevhodných zásahů z minulosti
- sanace suterénu, kde se vyskytuje dřevomorka domácích
- sanace dřevěných konstrukcí
- renovace původních prvků

#### **REKONSTRUKCE HISTORICKÉHO MOSTU V SEVERNÍCH ČECHÁCH (moderní technologie)**

- experimentální aplikace elastomerní polyurey (hydroizolace mostovky a vyložení chodníku)
- zesílení klenby rubovou skořepinou - zvýšení zatížitelnosti mostu, trysková injektáž
- sanace kamene, hydrofobizace

#### **REKONSTRUKCE MASARYKOVA MOSTU V KOLÍNĚ (moderní technologie)**

- experimentální aplikace elastomerní polyurey (hydroizolace mostovky)
- sanace žb nosných konstrukcí, provedení inhibitorů koroze, sanace trhlin (řešení materiály SIKA)
- sanace mostních závěrů

#### **REKONSTRUKCE HISTORICKÉHO OBLOUKOVÉHO MOSTU V JESENÍKU (moderní technologie)**



- aplikace elastomerní polyurey (hydroizolace mostovky a vyložení chodníku)
- zesílení nosné konstrukce, sanace železobetonových prvků - provedení inhibitorů koroze, sanace trhlin (řešení materiály SIKA)
- rozšíření mostu vyložení chodníku

#### **REKONSTRUKCE STŘECH ANEŽSKÉHO KLÁŠTERA (moderní+ tradiční technologie)**

- experimentální aplikace elastomerní polyurey (hydroizolace části ploché střechy)
- renovace původních prvků, výroba stávající krytiny
- aplikace trasových omítkovin

V rámci disertační práce byly dále zpracovány případové studie a analýzy stávajících hydroizolačních systémů ve vztahu ke vzniklým poruchám na níže uvedených mostech. Použité hydroizolační systémy byly porovnány s analyzovaným hydroizolačním materiálem na bázi elastomerní polyurey.

- **Most ul. Osvobození, Cheb**
- **Most u střelnice, Bílovec**
- **Estakády na Letné**
- **Lávka pro pěší - stadion v Karlových Varech**
- **Most v ul. Bezručova, Děčín**

Za velmi přínosnou část lze považovat výsledky dlouhodobého monitoringu aplikace elastomerní polyurey, který byl aplikován na následujících objektech:

- Lávka v Praze 8
- Kaskády ve svahu, Praha 8
- Nádrže na dešťovou vodu a koi kapry
- Plochá střecha, Klánovice
- Historická zemědělská usedlost Horky nad Jizerou



Shrnutí vybraných návrhů a realizaci hydroizolačních technologií				
Objekt	Hydroizolační technologie	Místo aplikace	Stav aplikace	Účinnost (duben 2021)
Obnova historické obvodové zdi obory Hvězda	bentonitové rohože v kombinaci s odvodňovacím systémem	rubová strana zdi	Provedeno - léto 2019	Po druhé zimě nedochází k žádným projevům vlhkosti, 100 % zlepšení situace.
Rekonstrukce Šlikova hrádku (Freudenstein)	odstranění biokoroze, salinity sanace zdiva, "obětovaná omítka"	svislé konstrukce, zdivo	návrh, stavební povolení	preferovaná metoda NPÚ
Rekonstrukce mostu v lokalitě Portz Insel	jílová izolace mostovky s odvodňovači	mostovka- v úrovni odtokových trubek	Provedeno - podzim 2019 až léto 2020	Rekonstrukce dokončena v červnu 2020, technologii lze označit za funkční.
Rekonstrukce obj. č.p. 73 na Pražském Hradě	vzduchová metoda (igliú)	mezi zeminou a podlahou objektu	návrh, stavební povolení	preferovaná metoda NPÚ
Historický most v severních Čechách	bentonitové matrace, HS3	klenby, rozšíření žb chodníku	návrh, stavební povolení. Experm. aplikace části mostu	Nedochází k dalším průsakům.
Masarykův most v Kolíně	HS1 (objekt A,B,D) HS5 (objekt C)	mostovka mostovka (zastřešení vodní elektrárny)	návrh, stavební povolení	odsouhlaseno NPÚ
Anežský klášter (část střech)	HS6	část plochých střech místo stáv. asf. pásů	návrh, stavební povolení	odsouhlaseno NPÚ
Historický obloukový most v Jeseníku	HS3 HS1	mostovka stávajícího mostu lávka	návrh, stavební povolení návrh, stavební povolení	
Lávka v Praze 8	HS6	mostovka	aplikace r. 2013	Bez závad, 100 %
Kaskády ve svahu	HS6	povrch kaskád	aplikace r. 2012	Bez závad, 100 %
Nádrže na dešťovou vodu a koi kapry	HS6	povrch nádrží	aplikace r. 2015	Bez závad, 100 %
Historická zemědělská usedlost	Hydroizolace 2 objektů Hydroizolace objektu	spodní stavba terasa	aplikace r. 2015 aplikace r. 2015	Bez závad, 100 % Bez závad, 100 %

Tab. 24: Shrnutí vybraných návrhů a realizaci aplikací hydroizolačních technologií u historických staveb



## 9.1 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH TRADIČNÍCH A MODERNÍCH HYDROIZOLAČNÍCH TECHNOLOGIÍ [4,35,42]

- Výhody technologií

### HISTORICKÉ TECHNOLOGIE

Jílové (bentonitové) izolace jsou v kombinaci s odvodněním vhodné pro:

- rehabilitaci a obnovu původních opatření/ doplňků
- utěsňování základů, zapuštěných stěn, podzemních kleneb
- inertní materiály
- udržují vlhkostní stav na požadované přiměřené úrovni
- plastické a snadno tvarovatelné
- odolnost mírně agresivním vodám
- dlouhodobá životnost

- Nevýhody technologií

### HISTORICKÉ TECHNOLOGIE

Jílové (bentonitové) izolace:

- jsou citlivé na lokální vysychání a opětovné zamokření
- je nutné zajistit větší tloušťky aplikace
- nezajišťují úplnou vodotěsnost
- technologie provádění a její provádění je pro dnešní firmy „komplikované“ (zajištění stálého vlhkostního stavu, proces vysychání apod.)
- zvažování bobtnacího potenciálu
- nejsou určeny pro odkryté izolace, do stojaté vody

Z výše uvedené komparace především vyplývá, že hydroizolační materiály je vždy nutné volit individuálně na základě vlhkostních a konstrukčních vlastností dané stavby s ohledem na její budoucí využití. Některé body naznačují, že by měl být upřednostňován citlivý přístup pro konkrétní stavbu. V žádném případě by neměla být např. projektanty prosazována z různých důvodů osobně privilegovaná hydroizolační vrstva na úkor odborných znalostí a vlastního profesionálního přesvědčení.

### MODERNÍ TECHNOLOGIE

Elastomerní polyurea:

- vytváří vodotěsnou membránu základů, podlah, plochých střech, mostovek a dalších
- rychlá aplikace v tenkých tloušťkách na jakýkoliv povrch
- aplikace je možná při vysokých hodnotách vlhkosti a za extrémních teplot (zachovává tepelnou stabilitu)
- vysoká přídržnost k podkladům
- mechanická, chemická odolnost
- odolnost vůči fotooxidaci
- vysoká pevnost v tahu, průtažnost

### MODERNÍ TECHNOLOGIE

Elastomerní polyurea ve vztahu k určitým historickým stavbám:

- u historického silně nasáklého zdiva může dojít k jeho rychlému přesušení po aplikaci
- nerespektuje přirozený pohyb vlhkosti
- zamezení difúzní propustnosti (riziko vzniku dalších poruch)
- nárůst vlhkosti pod touto vrstvou
- náročné odstranění vrstev



## 9.2 VLASTNÍ PŘÍNOS PRÁCE

Předmětem disertační práce bylo analyzovat možnosti použití tradičních technologií a vybraných nových materiálů při rekonstrukci historických objektů mostů. Optimálnímu návrhu řešení vždy předcházely podrobný stavební technický průzkum stavby. Práce je zaměřena na hodnocení účinnosti experimentálních aplikací elastomerní polyurey jako součást navržených hydroizolačních systémů v porovnání s výsledky aplikací v laboratorních podmínkách. Vlastnosti elastomerní polyurey jsou také porovnávány se standardně používanými hydroizolačními materiály. Za přínos práce lze považovat i vlastní návrh nových souvrství, u nichž probíhá v současné době certifikace. Výsledky veškerých analýz a nové zkušenosti z uvedených realizovaných rekonstrukcí historických staveb umožňují optimalizovat návrhy sanací a využití nově navržených hydroizolačních souvrství pro zajištění trvanlivosti a zvýšení životnosti staveb, což lze považovat za velmi aktuální téma dnešní doby.

Předkládaná disertační práce zahrnuje autorky dlouhodobé úsilí v oblasti projekční činnosti s cílem zachránit, zachovat a dát nové poslání objektům, na jejichž rekonstrukci měla možnost se podílet. Proto snahou bylo poukázat na vhodnost těchto tradičních řešení s představením ideálních osvědčených postupů z praxe.

Závěrem lze konstatovat, že analýza elastomerní polyurey a navržených souvrství pro mostní konstrukce pochopitelně nekončí touto prací. Naopak - tato práce vyvolává řadu otázek či dalších možností nejen v oblasti použití této moderní technologie, ale i tradičních materiálů v oblasti rekonstrukcí staveb a novostaveb. Vzhledem k současnému postavení polyuretanů či polyurei na světovém trhu je jejich vývoj na začátku. Představou autorky je provedení dalších experimentů materiálu pro zjištění jeho komplexních vlastností a sledování již provedených aplikací materiálu s cílem jeho rozšíření v pozemním i mostním stavitelství v Evropě. Mimo jiné jsou plánovány další experimenty v USA a Asii. Materiál bude navíc aplikován na dalších mostech i historických objektech, čímž se získají nové poznatky o vhodnosti materiálového řešení. Možnosti použití elastomerní polyurey ve stavební praxi jsou skutečně rozsáhlé...

V souvislosti s nově navrženými hydroizolačními souvrstvími a optimalizací návrhu sanačních metod se nabízejí i další otázky, které by byly zajímavými tématy pro další vědeckou práci, např.:

- Jaká je přilnavost elastomerní polyurey k vlhkým materiálům? Je tedy vhodné ho aplikovat u historických objektů s vysokou vlhkostí?
- Jak by bylo možné vylepšit fyzikální i chemické vlastnosti navržených hydroizolačních souvrství, resp. jaké materiály by bylo vhodné nahradit u jednotlivých vrstev?
- Jak se osvědčí navržená hydroizolační souvrství v praxi? Které souvrství je nejvíce univerzální?
- Jaké jsou další vlastnosti elastomerní polyurey (ve smyslu certifikace)?
- Jaká je účinnost provedených sanačních metod u vybraných objektů během několika let? (Pozorování, experimenty in – situ).



## 10 STRUKTUROVANÝ PŘEHLED ZDROJŮ

### - Literatura dle ČSN ISO 690

- [1] SYROVÝ, Bohuslav. *Architektura svědectví dob*. Praha: SNTL, 1974.
- [2] KOS, Josef. *Rekonstrukce pozemních staveb*. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-132-0.
- [3] VITRUVIUS. *Deset knih o architektuře*, Praha: Nakladatelství Svoboda, 1979.
- [4] ALBERTI, L.B.: *Deset knih o stavitelství*, SNKLHU Praha 1956
- [5] HÉRODOTOS: *Dějiny*, Antická knihovna, Svoboda, Praha 1976
- [6] PALLADIO, A.: *Čtyři knihy o architektuře*, SNKLHU, Praha 1958
- [7] SOLAŘ, Jaroslav. *Odstraňování vlhkosti: sanace vlhkého zdiva*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4708-8.
- [8] BALÍK, Michal, et al. *Odvlhčování staveb: 2., přepracované vydání*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [9] WITZANY, Jiří, Martin JIRÁNEK, Josef ZLESÁK a Radek ZIGLER. *Konstrukce pozemních staveb 20*. Praha: ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03422-4.
- [10] HOŠEK, J.: *Stavební materiály pro rekonstrukce*, skriptum ČVUT, Praha 1998, 142 s.
- [11] SOLAŘ, J.: *Příspěvek k problematice volby optimální metody sanace vlhkého zdiva*, Tepelná ochrana budov 2/2000, s. 31-32
- [12] ŠEFCŮ, O.: *Problém vlhkosti v památkách*, odborný seminář STOP Voda – nepřítel památek, Praha 1997
- [13] ASHURST, A. – Thomas, A.R. – Williams, G.: *The Control of Damp in Old Buildings*, Technical Pamphlet 8, Society for the Protection of Ancient Buildings, London 1992
- [14] BALÍK, L.: *Vliv elektroosmotického působení na transport vlhkosti ve vzorcích cihelných střepů*, 26. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 222-226, Česká stavební společnost, Praha 2004
- [15] ČMELÍK, J.: *Nezastupitelná úloha chemických injektáží při sanaci vlhkého zdiva budov*, 20. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 176-181, ČSS, Praha 1998
- [16] ČMELÍK, J.: *Injektážní metody dodatečných izolačních clon proti vzlínající vlhkosti zdiva – účinnost a chybné aplikace*, 21. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 88-92, Česká stavební společnost, Praha 1999
- [17] *Rekonstrukce výrobních postupů historických malt a omítek*. Brno, 2008. Bakalářská práce. VUT.
- [18] MENCL, Vojtěch. *Stavebně technické průzkumy*. Praha: ČKAIT, 2012. ISBN 978-80-87438-27-5.
- [19] Kolektiv autorů, *Průzkum technického stavu obvodové zdi obory Hvězda*. Praha: ČVUT Kloknerův ústav, Šolínova 7, Praha 6, 166 08



- [20] KOLÍSKO, J. – Klečka, T. – Kolář, K. – Vlček, M.: Diagnostika vlhkých staveb, WTA 2003
- [21] TORRES, Isabel a Vasco Peixoto de FREITAS. The influence of the thickness of the walls and their properties on the treatment of rising damp in historic buildings. In: *Construction and Building Materials*. 2010,24(8),s. 1331-1339. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.01.004. ISSN 09500618.
- [22] DOW, G.: Validation of a heat and moisture transfer model, International symposium „Moisture problems in building walls“ Porto, Portugal 1995
- [23] DAVID YOUNG, Frank a DRAWINGS BY ELLSMORE. *Salt attack amd rising damp: a guide to salt damp in historic and older buildings*. [2<sup>nd</sup> ed.]. Australia: Heritage Council of NSW, Heritage Victoria, South Australian Department for Environment and Heritage, Adelaide City Council, 2008, 277 s.ISBN 978-098-0512-649.
- [24] KOPECKÁ, I.: Degradace obnaženého opukového zdiva, 26. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 165-167, Česká stavební společnost, Praha 2004
- [25] KUNZEL, H.M. – Kiessl, K. – Krus, M.: Moisture in exposed building components, International symposium „Moisture problems in building walls“ Porto, Portugal 1995
- [26] TORRES, M.I.M. a V.P. DE FREITAS. *Rising damp in historical buildings, Research in buildings physics: proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Buildings Physics Leuven, 14-18 September 2003, Antwerpen, Belgium*. Exton, PA:A.A.Balkema Publishers, 2003,s. 369-375. ISBN 9058095657.
- [27] CHAMRA, Svatoslav, Jan SCHROFEL a Vladimír TYLŠ. *Základy petrografie a regionální geologie ČR*. Praha: ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-03138-4.
- [28] PAVLÍKOVÁ, Milena, Zbyšek PAVLÍK a Jiří HOŠEK. *Materiálové inženýrství I*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04935-7.
- [29] BURGETOVÁ, E.: Bentonitové hydroizolace, In: Sanace vlhkého zdiva budov, studijní texty ČS VTS, Praha 1988
- [30] LAMBOJ, Ladislav a Zdeněk ŠTĚPÁNEK. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03094-3.
- [31] BALÍK, Michael. *Vysušování zdiva v příkladech*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3045-5.
- [32] WASSERBAUER, Richard. *Biologické znehodnocení staveb*. Praha: ARCH, 2000. ISBN 80-86165-30-2.
- [33] WASSERBAUER, Richard. *Biodeteriorace stavebních a technických materiálů a konstrukcí*. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03075-X.
- [34] KYTE, C.T.: Laboratory Analysis as an Aid to the Diagnosis of Rising Damp, Construction Paper No. 80, Chartered Institute of Building, Ascot, 1997
- [35] FRATTARI, A. – Garafolo, I.: Definition and testing of an expert system for the evaluation of the moisture in masonry: a case study, International symposium „Moisture problems in building walls“ Porto, Portugal 1995





- [36] WARSCHEID, T. a J. Braams. Biodeterioration of stone: A review, *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2000
- [37] *Diagnostika dřevěných konstrukcí*, ČKAIT příručka
- [38] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4.
- [39] DRDÁČKÝ, Miloš. Výzkum v oblasti obnovy památek. *Inženýrská komora 2011*. 2011, č. 1.
- [40] VINAŘ, Jan. *Historické krovy: Typologie, průzkum, opravy*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3038-7.
- [41] HOŠEK, J. – Muk, J.: Omítky historických staveb, SPN Praha 1989, 143 s.
- [42] HOŠEK, J. – Pelikán, J. – Sokol, V.: Vlhnutí historických objektů a metody dodatečné hydroizolace, Národní technické muzeum v Praze, Praha 1986
- [43] HOŠEK, J. – Pelikán, J. – Sokol, V.: Utěšňování zdiva historických objektů a metody dodatečné hydroizolace, SÚPPOP, Praha 1982, 64 s.
- [44] DREYER, J.: Zkušenosti a účinnost postupů pro odstranění vlhkosti a solí, 23. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 31-38, ČSS, Praha 2001
- [45] GUIMARAES, A.S., J.M.P.Q. DELGADO a V.P. DE FREITAS. Mathematical analysis of the evaporative process of a new technological treatment of rising damp in historic buildings. In: *building and Environment*. 2010,45(11),s. 2414-2420. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.05.007. ISSN 03601323.
- [46] BALÍK, M.: Odvodnění staveb staré 4,5 tisíce let, *Tepelná ochrana budov 5/2000*, s. 27-29
- [47] BALÍK, M.: Dodatečné izolace staveb, *Stavební listy*, ročník VI, číslo 5/2000, s. 22-23
- [48] BALÍK, M.: Metody odstraňování vlhkosti zdiva I. a II., *Materiály pro stavbu 4/2002*, s. 58-63
- [49] BALÍK, M.: Hydroizolace spodní stavby historických objektů, disertační práce Fakulta stavební ČVUT, Praha 1984, 104 s.
- [50] BALÍK, M.: Návrhy snižování vlhkosti z hlediska památkové péče, 26. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 183-187, Česká stavební společnost, Praha 2004
- [51] FÁRA, P.: Sanace vlhkého zdiva, STOP 2003
- [52] ROVNANÍKOVÁ, P.: Omítky – Chemické a technologické vlastnosti, STOP Praha 2002
- [53] *Mikulov, Portz Insel- obnova komponované historické krajiny*. Mikulov, 2016.
- [54] *Barokní krajina tvorba*. Praha, 2018. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze.
- [55] *Diagnostika mostu v lokalitě Portz Insel*. Mikulov, 2016.
- [56] BROCKEN, H. – Pel, L.: Moisture transport over the brick/mortar interface, International symposium „Moisture problems in building walls“ Porto, Portugal 1995
- [57] KOTLÍK, P. a kol.: Stavební materiály historických objektů, skriptum VŠCHT, Praha 1999
- [58] SOUKUP, J.: Mosty klenuté, díl I. Provádění velkých kleneb dle nejnovějších názorů a příloha, nákladem vlastním, Praha 1900
- [59] WITZANY, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Vliv vlhkosti na fyzikálně mechanické vlastnosti porézních materiálů a na únosnost zdiva, *Stavební obzor 4/2003*, s. 97-104



- [60] WITZANY, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Cikrle, P.: Teoretický a experimentální výzkum Karlova mostu, *Stavební obzor* 4/2004, s. 97-111
- [61] TUREČEK, Peter. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-8076-023-3.
- [62] HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zatížení stavebních konstrukcí příručka k ČSN EN 1991*. Praha: ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-89-4
- [63] ŠAFÁŘ, R. : *Betonové mosty 2*. Praha: ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-05543-4.
- [64] WITZANY, Jiří, Tomáš ČEJKA, Richard WASSERBAUER a Radek ZIGLER. *PDR - Poruchy, degradace a rekonstrukce*. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
- [65] BURKINSHAW, R. - Parrett, M.: *Diagnosing Damp*, RICS 2004
- [66] COLEMAN, G.R.: *Guide to Identification of Dampness in Buildings*, Wessex Publishing Ltd, Gillingham 1990
- [67] GOBERT, E.G. – Oxley, T.A.: *Dampness in Buildings: Diagnosis, Treatment, Instruments*, Butterworth-Heinemann, Oxford 1998
- [68] ŠKABRADA, J.: *Konstrukce historických staveb*, Argo Praha 2003
- [69] WASSERBAUER, R.: Biokoroze soklových partií zdiva, *Inženýrské stavby* 8/1991, s. 281-284
- [70] WASSERBAUER, R. – Zapletalová, M.: Biodegradace ropných asfaltů, *Stavební obzor* 4/2001, s. 115-117
- [71] WASSERBAUER, R. – Vančurová, D. – Zwiener, V.: Vliv půdní mikroflóry na sanační materiály používané při izolaci spodní stavby, 23. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 306-309, Česká stavební společnost, Praha 2001
- [72] ROVNANÍKOVÁ, P. – Bayer, P. – Křístek, R.: Odolnost vápenných omítek a vápenopucolánových omítek proti krystalizaci solí, 26. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 52-57, Česká stavební společnost, Praha 2004
- [73] ROVNANÍKOVÁ, P.: Historické omítky a jejich obnova, 22. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 80-86, Česká stavební společnost, Praha 2000
- [74] BAIER, Jiří a Zdeněk TÝN. *Ochrana dřeva: Třetí, přepracované vydání*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-9000-9.
- [75] *Diagnostika krovu objektu č.p.73*. Praha, 2016.
- [76] BALÍK, Michael. Snižování vlhkosti zdiva v příkladech, část II: volba nejvhodnějších metod. *Stavebnictví*. 2011, č. 03.
- [77] BALÍK, Michael. Snižování vlhkosti zdiva v příkladech, část IV: volba nejvhodnějších metod. *Stavebnictví*. 2011, č. 03.
- [78] BALÍK, Michael. Snižování vlhkosti zdiva v příkladech, část II: volba nejvhodnějších metod. *Stavebnictví*. 2011, č. 03.
- [79] KLOUDA, Jaromír K. Zděné a smíšené konstrukce: současnost, trendy, stav technické normalizace. *Stavebnictví*. 2009, 06-07.



- [80] BURGETOVÁ, E.: Teorie a optimalizace dodatečného provádění plošných izolací proti zemní vlhkosti u historických objektů, kandidátská disertační práce, Fakulta stavební ČVUT, Praha 1985
- [81] BURGETOVÁ, E.: Fyzikální, chemické a biologické procesy ve zdivu pod dodatečnou hydroizolací, Tepelná ochrana budov 5/1999, vydavatel ČKAIT a CZB, s. 51-52
- [82] BURGETOVÁ, E.: Mechanical and Microbial Processes after Installation of Additional Waterproofing in Masonry, 7<sup>th</sup> International Conference on Modern Buildings Materials, Structures and Techniques, p. 99 – 100, Vilnius 2001
- [83] GEBAUER, G.: Vnitřní prostředí sanovaných a rekonstruovaných staveb, 25. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 296-302, ČSS, Praha 2003
- [84] SLOVENČÍK, I.: 10 let Hydropolu v Čechách, 26. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 266-268, Česká stavební společnost, Praha 2004
- [85] SOLAŘ, J.: Historický vývoj vzduchových izolačních systémů, Tepelná ochrana budov 3/2000, s. 33-35
- [86] SOLAŘ J.: Tepelně technické posouzení stěnových vzduchových dutin při sanaci vlhkého zdiva, 26. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 371-378,
- [87] ANA SOFIA GUIMARAES TEIXEIRA, J. M. P. Q. DELGADO a VASCO PEIXOTO DE FREITAS. *Wall Base Ventilation Systems Design to the Treatment of Rising Damp in Historical Buildings*. Neue Ausg. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. ISBN 978-365-9158-834.
- [88] BURGETOVÁ, Eva. Sanace historického zdiva pivovaru. *Realizace staveb*. 2007, 3 (6), 38-39. ISSN 1802-0631.
- [89] ANA SOFIA GUIMARAES TEIXEIRA, J. M. P. Q. DELGADO a VASCO PEIXOTO DE FREITAS. Wall base ventilation system as a new technique to treat rising damp in exist buildings. *Journal of Building Appraisal*. 2009,5(2), 187-195. DOI: 10.1057/jba.2009.29 ISSN 1742-8262.
- [90] TORRES, Isabel M. Wall base ventilation system ventilation system to treat rising damp: The influence of the size of the channels. In: *Journal of Cultural Heritage*. 2014,15(2), s.121-127. DOI: 10.1016/j.culher.2013.03.005. ISSN 12962074.
- [91] NOVOTNÝ, Marek, Ivan MISAR a Stanislav ŠUTLIAK. *Hydroizolace plochých střech: poruchy střešních pláštů*. Praha: Grada, 2014. Stavitel. ISBN 978-80-247-5002-6.
- [92] KÁNĚ, Luboš. Hydroizolace staveb. *DEK TIME*. 2011, č. 01.
- [93] KUTNAR Z. Hydroizolační defekty spodní stavby rodinného domu. *DEK TIME*. 2011, č. 03.
- [94] *DEK TIME: Hydroizolace nepodsklepených domů*. Praha: DEK, 2015. ISSN 1802-4009.
- [95] VLČEK, M.: Závady v hydroizolacích staveb – zdroje vlhkosti, 26. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 188-193, Česká stavební společnost, Praha 2004
- [96] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery- výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha- VŠCHT, 2007.
- [97] MLEZIVA, J. a J. Šňupárek. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití (Polymers- Production, Structure, Properties and Applications)*. Praha: Sabotáles, 2000.
- [98] GRUNWALD, Alexander. *Chemie*. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03243-4.



- [99] SVOBODA, Luboš, et al. *Stavební hmoty*. Praha: Jaga, 2005. ISBN 80-8076-007-1.
- [100] MENCL, V. – Novák, J.: *Jakost ve stavebnictví, Stavební ročenka 1999, Český svaz stavebních inženýrů*, Praha 1999, s. 132-152
- [101] MICHALCO, O. – Mikš, A. – Semerák, P. – Klečka, T.: *Fyzikální a mechanické zkoušení stavebních materiálů*, skriptum ČVUT, Praha 1998
- [102] MOUCHA, Marek. *Mechanické a trvanlivostní vlastnosti stříkané hydroizolační vrstvy na bázi elastomerního polyuretanu*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT. (spolupráce na vybraných experimentech)
- [103] *Mosty - komplexní řešení pro betonové mosty*. Praha: SIKA, 2018.
- [104] FISCHER, J. – Fischer, O.: *Pražské mosty*, Academia, Praha 1985
- [105] HRDOUŠEK, Vladislav. *Betonové mosty*. Praha: ČVUT, 1981.
- [106] *Hydroizolace a vozovky na mostech: konference: sborník příspěvků*. Brno: Akademické nakladatelství CERM pro Sekurkon, pobočka Brno, 1990. ISBN ISBN978-80-87342-20-6.
- [107] *Sanace a rekonstrukce - mosty. Sanace a rekonstrukce- mosty*. 2016, (3).
- [108] *TKP 21. Aktualizace*. Praha 4: Pragoprojekt, 2010.
- [109] Plachý, J., Horský, J.: *Zkoumání vazeb mezi betonem, pečetící vrstvou a pásy na betonových mostovkách. In Hydroizolace a vozovky na mostech: sborník příspěvků*. 1. vyd. Brno: Novopress s. r. o., 2012. s. 44 – 49, 6 s. ISBN 978-80-87342-16-9.
- [110] Horský, J.: *Destruktivní a nedestruktivní průzkum poruch vozovkového souvrství na mostech. Hydroizolace a vozovky na mostech: sborník příspěvků*. 1. vyd. Brno: Novopress s. r. o., 2014. s. 5 – 9, 5s. ISBN 978-80-87342-18-3.
- [111] Plachý, J. Horský, J.: *Poruchy izolačního souvrství betonových mostovek s pečetící vrstvou na bázi epoxidových pryskyřic a hydroizolační vrstvou z asfaltových pásů. Silnice a železnice*. 1/2015 str. 2 – 22, ISSN 1801-822X.
- [112] *Diagnostika mostu v Rumburku*. Liberec, 2016.
- [113] *HMP - Msarykův most v Kolíně*. Kolín, soubor několika HMP.
- [114] MILLS, A. et al., A simple, inexpensive method for rapid testing of the photocatalytic activity of self – cleaning surfaces, *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 2013.
- [115] MILLS, A. et al., Photocatalytic activity indicator inks for probing a wide range of surfaces, *J.Photochem. Photobiol. A Chem.*, 2014.
- [116] HÁJEK, Petr. *Konstrukce pozemních staveb 10: Nosné konstrukce 1*. Praha: ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02243-9.
- [117] LAMBOJ, Ladislav a Zdeněk ŠTĚPÁNEK. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03094-3.
- [118] CHAMRA, Svatoslav, Jan SCHROFEL a Vladimír TYLŠ. *Základy petrografie a regionální geologie ČR*. Praha: ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-03138-4.
- [119] HRDOUŠEK, Vladislav. *Obloukové mosty*. Praha: ČVUT, 1984.



- [120] BECHYNĚ, S.: Přípis akademika S. Bechyněho týkající se posouzení námitek prof. Ing. Z. Bažanta, DrSc k navržené a realizované rekonstrukci KM adresovaný SÚRPMO Praha, 2/1969
- [121] SVOBODA, Luboš, et al. *Stavební hmoty*. Praha: Jaga, 2005. ISBN 80-8076-007-1.
- [122] HOLICKÝ, Milan a Jana MARKOVÁ. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí: Příručka k ČSN EN 1990*. Praha: ČKAIT, 2007. ISBN 978-80-87093-27-6.
- [123] FOGLAR, Marek. *Betonové konstrukce 3: Navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu*. Praha: ČVUT, 2012. ISBN 978-80-01-04943-3
- [124] VÍTEK, Jan. *Světové mosty: od antiky po současnost*. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-0770-4.
- [125] BOHÁČOVÁ, Denisa. *Průzkum a rekonstrukce historického objektu v Horkách nad Jizerou*. Diplomová práce. ČVUT. 2015
- [126] BROWN P.,J. C.-D. of building based materials, a undefined 1988, *Mechanismus of deterioration in cement- based materials and in lime Mortar*, bcin.ca.
- [127] FRANKL, J. *The changes in compression strength of wood along and across grain caused by an impact of damage to wood by wood- damaging fungi*. In: Engineering mechanics 2009, 2009, s. 261-272.

#### STRUKTUROVANÝ PŘEHLED ZDROJŮ - Literatura dle ČSN ISO 690 (webové stránky)

- [128] Obora Hvězda. *MHMP* [online]. Praha: MHMP, 2019 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Obora\\_Hv%C4%9Bzda](https://cs.wikipedia.org/wiki/Obora_Hv%C4%9Bzda)
- [129] Obora Hvězda. *Wikipedie* [online]. Praha: wikipedie, 2019 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Obora\\_Hv%C4%9Bzda](https://cs.wikipedia.org/wiki/Obora_Hv%C4%9Bzda)
- [130] Hrádek Freudenstein. *NPÚ* [online]. Praha: NPÚ- památkový katalog, 2015 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/hrad-hradek-freudenstein-slikuv-hradek-zricenina-a-archeologicke-stopy-20577573>
- [131] Hrádek Freudenstein. *Památky a příroda Karlovarska* [online]. Karlovy Vary: NPÚ- památkový katalog, 2009 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <http://www.pamatkyaprirodakarlovarska.cz/jachymov-hrad-freudenstein/>
- [132] Sanace Povážského hradu. *ASB* [online]. Praha: ASB, 2013 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/obvodove-konstrukce/sanace-kamenného-zdiva-povazskeho-hradu>
- [133] Zámeček Portz. *NPÚ, ÚOP v TELČI* [online]. Telč: NPÚ, ÚOP v TELČI, 2015 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.npu.cz/cs/uop-telc/inspirujte-se/6008-zamecek-portz>
- [134] Císařský špitál sv. Antonína. *NPÚ* [online]. Praha: NPÚ- památkový katalog, 2015 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz/cisarsky-spital-sv-antonina-15558103>
- [135] BURGETOVÁ Eva a Robert MATĚJČEK. *Návrh sanácie vlhkého muriva kostola sv. Jiljí v Milevsku*. *ASB.sk: odborný stavebný portal* [online]. 2008 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z:



- <https://www.asb.sk/stavebnictvo/rekonstrukcia/navrh-sanacie-vlhkeho-muriva-kostola-sv-jilji-vmilevsku>
- [136] Nedestruktivní průzkum poruch vozovkového souvrství na mostech s betonovou mostovkou a hydroizolační vrstvou z asfaltových pásů. *Silnice - Železnice* [online]. Praha: Silnice-Železnice, 2015 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/nedestruktivni-pruzkum-poruch-vozovkoveho-souvrstvi-na-mostech-s-betonovou-mostovkou-a-hydroizolacni-vrstvou-z-asfaltovych-pasu/>
- [137] Problematika pečetících vrstev v současných podmínkách staveb. *Izolace* [online]. Praha: Izolace, 2019 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.izolace.cz/clanky/problematika-peceticich-vrstev-v-soucasnych-podminkach-staveb/>
- [138] Anežský klášter. *Wikipedie* [online]. Praha: wikipedie, 2020 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ane%C5%B5sk%C3%BD\\_kl%C3%A1%C5%A1ter](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ane%C5%B5sk%C3%BD_kl%C3%A1%C5%A1ter)
- [139] Střechy, terasy | Rhino Linings – FIRAST s. r. o. *FIRAST s. r. o. | Projektová, inženýrská a dodavatelská společnost* [online]. Copyright © 2013 [cit. 19.03.2020]. Dostupné z: <http://rhinolinings.eu/cs/strechy-terasy.html>  
(vlastní internetové stránky - licence USA)

#### Zpráva, experimentální analýza:

- [140] SLÍŽKOVÁ, Zuzana. *Analýza struktury a chemického složení omítkových souvrství na objektu zřícenina hradu Freudenstein (též Šlikův hrádek), věž Šlikovka, Ostroh nad Jáchymovem (Zámecký vršek u Jáchymova)*. Praha: ÚTAM, 2018.
- [141] PROCHÁZKA. FN NANO nátěry pro zdravé a čisté prostředí. [online]. Praha: FN NANO, 2019 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z <https://fn-nano.com/jak-to-funguje-2/>
- [142] HENNINGSEN John. *Casy study- Rhino Linnings, EXTREME*. Rhino Linnings: San Diego, 2019.

#### Průzkumy, experimenty a návrhy rekonstrukce proběhly v souladu s normami dle ČSN ISO 690

- [143] ČSN EN 12311-1. *Hydroizolační pásy a fólie - Stanovení tahových vlastností*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [144] ČSN EN 12311-1. *Hydroizolační pásy a fólie - Stanovení přilnavosti v tahu* Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [145] ČSN EN ISO 846. *Plasty - Hodnocení působení mikroorganismů*, Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [146] ČSN EN 1926 (721142). *Zkušební metody přírodního kamene- Stanovení pevnosti v prostém tlaku*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [147] ČSN 73 6201. *Projektování mostních objektů*. Aktuální druhé vydání. Praha: Český normalizační institut, 2008.



- [148] ČSN ISO 13822 (730038). *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. Aktuální druhé vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [149] ČSN EN 12390-3 (731302). *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Aktuální třetí vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [150] ČSN 73 2400. *Provádění a kontrola betonových konstrukcí*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [151] ČSN 73 6133. *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [152] ČSN 73 6221. *Prohlídky mostů pozemních komunikací*. Aktuální druhé vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 2011.
- [153] ČSN 73 0038. *Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [154] ČSN 731101. *Navrhování zděných konstrukcí*. První vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 1980.
- [154] Stavební řád pro město Prahu, 1886
- [155] Stavební řád pro Čechy, 1889
- [156] Technický průvodce pro inženýry a stavitele, Česká matice technická, Praha 1915
- [157] ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách, ČSNI Praha 1986
- [158] ČSN 72 2448 Stanovení vlhkosti a nasákavosti malty, ČSNI Praha 1970
- [159] ČSN 06 0210: Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění, ČSNI Praha 1994
- [160] ČSN 73 0540: Tepelná ochrana budov, část 2: Funkční požadavky, ČSNI Praha 2002
- [161] ČSN 72 2603: Nasákavost cihel, ČSNI Praha 1979
- [162] ČSN 72 2452: Mrazuvzdornost malty, ČSNI Praha 1970
- [163] ČSN 73 1101: Navrhování zděných konstrukcí, ČSNI Praha 1999
- [164] ČSN EN 13755: Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku, ČSNI Praha 2000
- [165] ČSN EN ISO 12571: Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků – Stanovení hygrokopických sorpčních vlastností, ČSNI Praha 2001
- [166] ČSN EN ISO 12572: Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení prostupu vodní páry, ČSNI Praha 2002
- [167] ČSN EN ISO 15148: Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení nasákavosti částečným ponořením, ČSNI Praha 2004
- [168] ISO 13822: Hodnocení existujících konstrukcí
- [169] ISO 2394: General Principles on Reliability for Structures, 1998



- [170] ISO 13822: Bases for Design of Structures – Assessment of Existing Structures, Final Draft, 2001
- [171] ACI 364.1R: Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation, 1993
- [172] BS 6576: British Standard Code of Practice for Installation of Chemical Damp-proof Courses, BSI London 1985
- [173] BS 8301: British Standard Code of Practice for Building Drainage, BSI London 1985
- [174] Směrnice WTA 2-2-91/D: Sanační omítkové systémy, 1991
- [175] Směrnice WTA 2-6-99/D: Doplněk ke směrnici 2-2-91/D „Sanační omítkové systémy“, 1999
- [176] Směrnice WTA 4-3-98/D: Oprava zdiva – stabilita a únosnost, 1998
- [177] Směrnice WTA 4-4-96/D: Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti, 1996
- [178] Směrnice WTA 4-6-98/D: Dodatečná izolace stavebních konstrukcí ve styku se zeminou, 1998
- [179] Směrnice WTA 4-5-99: Posuzování zdiva, diagnostika zdiva, 2004
- [180] Směrnice WTA 4-7-02/D: Dodatečné mechanické vodorovné hydroizolace, 2002
- [181] Směrnice WTA 4-11-02/D: Měření vlhkosti minerálních stavebních hmot, 2002
- [182] Návrh směrnice WTA 2-9-04/D: Sanační omítkové systémy
- [183] Směrnice pro navrhování a posuzování obytných panelových budov z hlediska stavební tepelné techniky, díl 2, VÚPS Praha 1972
- [184] Soubor doporučených a vzorových řešení, technických pokynů, zásad, technologických listů a pravidel pro přípravu, projektování a provádění rekonstrukcí a modernizací domovního fondu, sv. 26, VÚPS, Praha 1976-1977
- [185] Předprojektová a projektová dokumentace v procesu péče o stavební památky, svazek 27, Odborné a metodické publikace, Národní památkový ústav Praha 2004
- [186] Vyhláška MMR o obecných technických požadavcích na výstavbu č. 137/1998 Sb. § 9 ochrana staveb
- [187] Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- [188] Nařízení vlády č.178/2001, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci před některými riziky plynoucími z pracovních podmínek a požadavky na pracovní prostředí a pracoviště
- [189] ČSN EN 1996-1-1 +A1. *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. Aktuální druhé vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [190] ČSN EN 1097-5. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 2008.
- [191] ČSN 12570. *Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 2001.
- [192] ČSN 73 0405 (730405). *Měření posunů stavebních objektů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1997.





- [193] ČSN P 73 0610 (730610). *Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [194] ČSN EN 73 0600. *Hydroizolace staveb- Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [195] ČSN 73 0601 (730601). *Ochrana staveb proti radonu z podloží*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [196] ČSN EN 1991-1-1 (730035). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [197] ČSN EN 1992-1-1 (731201) ed.2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [198] ČSN EN 1992-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby dle teorie mezních stavů pro I. mezní stav únosnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [199] ČSN 73 4130 (734130). *Schodiště a šikmé rampy - Základní požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [200] ČSN EN 1991-1-4 (730035). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [201] ČSN EN 1991-1-3 (730035). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [202] ČSN EN 1995 - 1-1. *Navrhování dřevěných stavebních konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla- Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [203] ČSN 736242:2010. *Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací*. Praha: Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví. 2010-04-01. Třídící znak 736242.
- [204] ČSN EN 14695:2010. *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové pásy pro hydroizolaci betonových mostovek a ostatních pojížděných betonových ploch – Definice a charakteristiky*. Praha: Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví. 2010-05-01. Třídící znak 727605.



## SEZNAM OBRÁZKŮ

---

- Obr. 1-3: Metody řešení - laboratorní analýza (vlastní zdroj)*
- Obr. 4: Situace řešeného úseku v širších vztazích (vlastní zdroj)*
- Obr. 5: Situace řešeného úseku v širších vztazích (vlastní zdroj)*
- Obr. 6-8: Ohradní zeď - původní stav, r. 2017 (vlastní zdroj)*
- Obr. 9: Sanace zdiva, varianta 1 (vlastní zdroj)*
- Obr. 10: Sanace zdiva, varianta 2 (vlastní zdroj)*
- Obr. 11: Pažení výkopu a provedení izolace z bentonitových rohožích (vlastní zdroj)*
- Obr. 12: Návrh odvodnění ohradní zdi (vlastní zdroj)*
- Obr. 13: Stav základů po odkrytí (vlastní zdroj)*
- Obr. 14-15: Ukázka zdění (vlastní zdroj)*
- Obr. 16: Nový stav zdi, pohled ze strany obory (vlastní zdroj)*
- Obr. 17: Příčný řez zdi s drenáží (vlastní zdroj)*
- Obr. 18: Schodiště, (léto 2019) (vlastní zdroj)*
- Obr. 19, 20: Původní stav zdiva (vlastní zdroj)*
- Obr. 21: Část zdiva po rekonstrukci (r.2019) (vlastní zdroj)*
- Obr. 22: Historický snímek hradu Freudenstein, pohled [131]*
- Obr. 23: Situace areálu Šlikova hrádku (vlastní zdroj)*
- Obr. 24 - 26: Stávající stav hradu s poruchami (vlastní zdroj)*
- Obr. 27 - 29: Laboratorní analýza vzorků, stanovení salinity (vlastní zdroj)*
- Obr. 30: Vzorek 1B, zdroj ÚTAM (spolupráce [68])*
- Obr. 31: Vzorek 2, zdroj ÚTAM (spolupráce [68])*
- Obr. 32: Vzorek 2, zdroj ÚTAM (spolupráce [68])*
- Obr. 33 - 36: Vzorek 3 (elektronová mikroskopie), zdroj ÚTAM (spolupráce [68])*
- Obr. 37: Historický stav (archivní snímek rytiny) [130]*
- Obr. 38: Vizualizace vývoje návrhu nového stavu (vlastní zdroj)*
- Obr. 39: Detail nového zastřešení (vlastní zdroj)*
- Obr. 40 - 41: Vizualizace nového stavu hradu a amfiteatru (vlastní zdroj)*
- Obr. 42: Most v lokalitě Portz Insel - pohled na most (vlastní zdroj)*
- Obr. 43: Stávající stav (vlastní zdroj)*
- Obr. 44: Situace mostu a navazujícího okolí (vlastní zdroj)*
- Obr. 45: Stávající stav (vlastní zdroj)*
- Obr. 46: Pohled na most (vlastní zdroj)*
- Obr. 47: Historická mapa mikulovského panství zhotovená roku 1672 Clemensem Beutlerem z Ebelberga pro knížete Ferdinanda z Dietrichsteina. Výřez dochovaného fragmentu zachycuje průběh moravsko – rakouské hranice [130]*



- Obr. 48: Historický plán mostu zachycující původní podobu ještě s dřevěným padacím polem, zdroj: MZA v Brně, fond F 18 Hlavní registratura Ditrichštejnů v Mikulově
- Obr. 49: Dokumentace poruch mostní konstrukce (vlastní zdroj)
- Obr. 50: Poruchy na 4. klenbě (vlastní zdroj)
- Obr. 51: Kopaná sonda S1 u pilíře č. 6 (vlastní zdroj)
- Obr. 52: Stávající stav mostu - zakreslení sondy (vlastní zdroj)
- Obr. 53: Nález nákolníků
- Obr. 54: Navržený nový stav
- Obr. 55: Řez- stávající stav
- Obr. 56: Nefunkční odvodňovač (vlastní zdroj)
- Obr. 57: Jílová vrstva (vlastní zdroj)
- Obr. 58 - 59: Zatěžovací stavy mostu (vlastní zdroj)
- Obr. 60: Detail řešení zábradlí (vlastní zdroj)
- Obr. 61: Celková situace mostu (vlastní zdroj)
- Obr. 62: Vizualizace mostu po rekonstrukci (vlastní zdroj)
- Obr. 63: Vizualizace - detailní pohled na řešení sanace mostu (vlastní zdroj)
- Obr. 64: Stav během rekonstrukce, léto 2019 (odkrytí mostu), (vlastní zdroj)
- Obr. 65 - 67: Průběh rekonstrukce mostu (podepření kleneb, zajištění cihel), (vlastní zdroj)
- Obr. 68 - 72: Zaplavování stavební jámy v okolí mostu v průběhu stavebních prací, ukázka stávajícího odvodnění, (stav březen 2020), (vlastní zdroj)
- Obr. 73 - 74: Nový stav most v lokalitě Portz Insel - slavnostní otevření (13.7. 2020), (vlastní zdroj)
- Obr. 75 - 78: Císařský špitál sv. Antonína a sv. Alžběty, Obr. 76: Pohled na objekt z ulice Kanovnická, hlavní brána (vstupní část), Obr. 78: Císařský špitál sv. Antonína a sv. Alžběty – kaple, (vlastní zdroj)
- Obr. 79 – 81: Neodborný zásah- provedení zateplení u oken (vlastní zdroj)
- Obr. 82 -83: Dřevomorka domácí ve sklepě (vlastní zdroj)
- Obr. 84: Degradace podlahy (vlastní zdroj)
- Obr. 85: Krov (vlastní zdroj)
- Obr. 86 - 87: Zteřelá asfaltová hydroizolace (vlastní zdroj)
- Obr. 88 - 90: Poruchy v suterénní části objektu (vlastní zdroj)
- Obr. 91 - 92: Chybné provedení systému vzduchových kanálků (vlastní zdroj)
- Obr. 93: Vysokotlaké aplikační zařízení (vlastní zdroj)
- Obr. 94: Ukázka aplikace materiálu (vlastní zdroj)
- Obr. 95: Příprava vzorků elastomerní polyurey pro stanovení tahových vlastností (vlastní zdroj)
- Obr. 96: Měření vzorků (vlastní zdroj)
- Obr. 97: Experimentální zjištění pevnosti v tahu, Fsv ČVUT v Praze (vlastní zdroj)
- Obr. 98: Experimentální stanovení pevnosti v tahu dle ASTM (John Henningsen, Rhino Linings)
- Obr. 99: Zkoušení přilnavosti v tahu pomocí odtahového přístroje Comtest OP 3/4 (vlastní zdroj)
- Obr. 100: Koheze porušení podkladu, PB [102]
- Obr. 101: Kohezní porušení podkladu CPP [102]



- Obr. 102: (podkladem - XPS a hydroizolace), porušení adheze mezi materiály [102]
- Obr. 103: Beton a hydroizolace Porušení adheze mezi materiály [102]
- Obr. 104 a 105: Experiment transportních parametrů [102]
- Obr. 106: Fotodokumentace z experimentu- 1.řádek neúplný živný agar, 2. řádek- úplný živný agar, 3. řádek- bakterie (vlastní zdroj)
- Obr. 107: Hydroizolační souvrství 1 (vlastní zdroj)
- Obr. 108: Hydroizolační souvrství 2 (vlastní zdroj)
- Obr. 109: Hydroizolační souvrství 3 (vlastní zdroj)
- Obr. 110: Hydroizolační souvrství 4 (vlastní zdroj)
- Obr. 111: Hydroizolační souvrství 5 (vlastní zdroj)
- Obr. 112: Hydroizolační souvrství 6 (vlastní zdroj)
- Obr. 113 - 115: Experiment odolnosti materiálu vůči tlaku kol, laboratoře Rhino Linings, San Diego, USA (vlastní zdroj)
- Obr. 116: Termokamera, zdroj – technický list výrobce
- Obr. 117: Termografický snímek hydroizolačního souvrství mostu (vlastní zdroj)
- Obr. 118 – 119: Most v Chebu: stávající stav mostu (vlastní zdroj)
- Obr. 120: Zjištěné výsledky stávající skladby na mostě (vlastní zdroj)
- Obr. 121 - 122: Most v Bílovci: stávající stav mostu (vlastní zdroj)
- Obr. 123 -124: Estakády na Letné- stávající stav, na Obr. 104: estakáda č.4 (vlastní zdroj)
- Obr. 125 - 127: Diagnostika estakád - jádrové vrtání (vlastní zdroj)
- Obr. 128 -129: Lávka na stadionu v Karlových Varech - stávající stav lávky (vlastní zdroj)
- Obr. 130 – 131: Most v ul. Bezručova – stávající stav lávky (vlastní zdroj)
- Obr. 132 - 133: Stávající stav pečetící vrstvy na mostech (vlastní zdroj)
- Obr. 134 - 135: Most v Rumburku - historické snímky mostu (archiv města Rumburk)
- Obr. 136: Místa odběru vzorků (vlastní zdroj)
- Obr. 137: Odebrané vzorky z nosné konstrukce pro laboratorní analýzu (diagnostika Valbek)
- Obr. 138: Grafické řešení klenby mostu (vlastní zdroj)
- Obr. 139: Navržená rekonstrukce mostu (vlastní zdroj)
- Obr. 140: Experimentální aplikace materiálu na mostě (vlastní zdroj)
- Obr. 141: Skladba vozovky na mostě (vlastní zdroj)
- Obr. 142 - 143: Historické snímky mostu (archiv města Kolín)
- Obr. 144 - 145: Pohledy na stávající stav mostu (fotografie- internet)
- Obr. 146 - 147: Degradace spodní stavby Masarykova mostu, obj. B,C (vlastní zdroj)
- Obr. 148 – 149: Degradace nosné konstrukce Masarykova mostu, objekt D (vlastní zdroj)
- Obr. 150 - 152: Masarykův most - degradace nosné konstrukce - zatékání/ odlupování povrchových vrstev, opadávání krycí vrstvy/ trhliny (vlastní zdroj)
- Obr. 153 – 157: Masarykův most - degradace mostního svršku- problematické řešení dilatačních a pracovních spár (vlastní zdroj)
- Obr. 158 – 160: Jádrové vrtání (chlazení vodou, obj. D, vývrty) (vlastní zdroj)



- Obr. 161: Schéma fotokatalýzy (firma FN NANO) [141]  
Obr. 162: Masarykův most, příčný řez obj. C- most přes vodní elektrárnu (vlastní zdroj)  
Obr. 163 - 165: Anežský klášter, stávající stav řešených částí střech (vlastní zdroj)  
Obr. 166 – 167: Most v Jeseníku - stávající stav mostu (vlastní zdroj)  
Obr. 168 - 169: Most v Jeseníku- degradace konstrukce (vlastní zdroj)  
Obr. 170 – 171: Most v Jeseníku - degradace nosných konstrukcí (vlastní zdroj)  
Obr. 172 - 173: Degradace mostu/ mostovky (vlastní zdroj)  
Obr. 174: Vizualizace mostu po rekonstrukci a realizace nové lávky, (aplikace elastomerní polyurey), (vlastní zdroj)  
Obr. 175: Most v Jeseníku - skladba nové vozovky, návrh rekonstrukce  
Obr. 176 – 177: Aplikace elastomerní polyurey na lávce v Tróji, r. 2013  
Obr. 178 – 179: Stávající stav lávky, r. 2019  
Obr. 180 - 182: Problematická aplikace hydroizolačního materiálu na kaskádách, r. 2012 (vlastní zdroj)  
Obr. 183 - 184: Aplikace elastomerní polyurey na kaskádách, r. 2012 (vlastní zdroj)  
Obr. 185 - 189: Aplikace elastomerní polyurey v nádržích, r. 2015 (vlastní zdroj)  
Obr. 190: Aplikace materiálu (vlastní zdroj)  
Obr. 191: Stávající stav nádrže po aplikaci, r. 2019 (vlastní zdroj)  
Obr. 192 - 193: Nekvalitní aplikace materiálu (vlastní zdroj)  
Obr. 194: Situace areálu historické zemědělské usedlosti (vlastní zdroj)  
Obr. 195 – 196: Projevy vlhkosti, obj.1 (vlastní zdroj)  
Obr. 197: Projevy vlhkosti, obj.2 (vlastní zdroj)  
Obr. 198: Zřícení opěrné zdi (vlastní zdroj)  
Obr. 199: Znázornění degradace obj.1 v důsledku zřícení opěrné zdi (vlastní zdroj)  
Obr. 200: Původní stav objekt 1 (vlastní zdroj)  
Obr. 201: Historická usedlost Horky nad Jizerou - aplikace elastomerního polyuretanu, objekt 1 (vlastní zdroj)  
Obr. 202 - 204: Aplikace elastomerní polyurey na terase, obj. 2 (vlastní zdroj)  
Obr. 205 – 206: Viadukt CINTA COSTERA III (Rhino Linings- John Henninngsen) [142]  
Obr. 207 - 211: Viadukt CINTA COSTERA III, původní stav, osazení lešení a provádění aplikace elastomerní polyurey (Rhino Linings- John Henninngsen) [142]  
Obr. 204: Současný stav po aplikaci elastomerní polyurey (Rhino Linings- John Henninngsen)



---

## SEZNAM TABULEK

*Tab. 1: Výsledky vlhkosti (podzim 2017)*

*Tab. 2: Výsledky chemické analýzy vzorků zdiva Šlikova hrádku v % hmotnosti (duben 2018)*

*Tab. 3: Výsledky analýzy vlhkosti mostu Portz Insel (červenec 2016)*

*Tab. 4: Obecné dělení polymerů*

*Tab. 5: Výsledky měření přilnavosti v tahu pro referenční vzorky [102]*

*Tab. 6: Výsledky měření přilnavosti v tahu pro vzorky degradované (75°C po 8 týdnů).*

*(Uvedené zkratky: B – betonová dlažba, PB – pórobeton, CPP – cihla plná pálená, XPS – extrudovaný polystyren). [102]*

*Tab. 7: Vyhodnocení transportních parametrů pro vodní páru v elastomerní hydroizolaci [102]*

*Tab. 8: Hodnocení vzorků*

*Tab. 9: Hodnocení vzorků*

*Tab. 10: Základní chemické vlastnosti*

*Tab. 11: Základní fyzikální vlastnosti*

*Tab. 12: Aplikační teploty*

*Tab. 13-14: Porovnání vlastností materiálů*

*Tab. 15 a 16: Výsledky destruktivních zkoušek pevnosti v tlaku kamene*

*Tab. 17: Výsledky destruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku*

*Tab. 18: Výsledky analýzy vlhkosti*

*Tab. 19: Analýza hydroizolačních souvrství*

*Tab. 20: Experimentální aplikace hydroizolačních souvrství*

*Tab. 21 - 22: Výsledky vlhkostní analýzy*

*Tab. 23: Výsledky dlouhodobého monitoringu experimentální aplikace*

*Tab. 24: Shrnutí vybraných návrhů a realizací aplikací hydroizolačních technologií u historických staveb*

*Diagram 1: Závěry po jednání s NPÚ (zahrnutí požadavků)*



---

## SEZNAM VÝZNAMNÝCH VLASTNÍCH PUBLIKACÍ

(výběr 2019 - 2020)

### Příspěvky ve sborníku:

BOHÁČOVÁ, Denisa a Eva BURGETOVÁ. Obnova historické obvodové zdi obory Hvězda. In.: *Sanace a rekonstrukce staveb 2019*. Praha: ČVUT, 2019, Kloknerův ústav, s. 18-24. ISBN 978-08-02-02888-8.

BOHÁČOVÁ, Denisa a Eva BURGETOVÁ. Reconstruction of the Historic Bridge Located in Portz Insel. In: *Rehabilitation and Reconstruction of Buildings III*. Pfaffikon: Trans Tech Publications Ltd, 2020, Key Engineering Materials Vol. 868, 197 pages

### Články:

BOHÁČOVÁ, Denisa a Eva BURGETOVÁ. Rekonstrukce historického mostu v lokalitě Portz Insel. *Tzb info*. 2020, (7/2020). Dostupné také z: <https://stavba.tzb-info.cz/historicke-stavby/20945-rekonstrukce-historickeho-mostu-v-lokalite-portz-insel>

BOHÁČOVÁ, Denisa a Eva BURGETOVÁ. Obnova historické obvodové zdi obory Hvězda. *Tzb info*. 2020, (8/2020). Dostupné také z: <https://stavba.tzb-info.cz/>



---

## SOUPIS VÝZNAMNÝCH PROJEKTŮ A REALIZOVANÝCH REKONSTRUKCÍ HISTORICKÝCH STAVEB

### 2020 - VÝBĚR (PROJEKČNÍ ČINNOST JAKO AI ČKAIT)

- **Rekonstrukce objektu č.p. 19 (fary) v Modlanech:** Zpracování návrhu rekonstrukce historického objektu na základě provedeného stavebně technického průzkumu a experimentální analýzy. (Spoluúčast na návrhu rekonstrukce objektu, zpracování architektonicko stavební části)
- **Dokončení realizace historického mostu v lokalitě Portz Insel:** účast na KD, inženýrská činnost, zhotovení DSPS, zhotovení HPM a mostního listu
- **Rekonstrukce budov zámeckého areálu v Nemyšli u Tábora:** Zpracování návrhu rekonstrukce historických objektů (divadlo, zámek) na základě provedeného stavebně technického průzkumu a experimentální analýzy. (Zpracování architektonicko stavební a stavebně konstrukční části).
- **Rekonstrukce budov zámeckého areálu v Nemyšli u Tábora – projekt a realizace rekonstrukce objektu pěstitelské pálenice:** Probíhající rekonstrukce historického objektu. Spolupráce s NPÚ. (Provedení stavebně technického průzkumu, spoluúčast na návrhu rekonstrukce objektu, zpracování architektonicko stavební a stavebně konstrukční části).
- **Rekonstrukce budovy historického lihovaru v Nemyšli u Tábora - projekt rekonstrukce objektu:** Probíhající rekonstrukce historického objektu. Spolupráce s NPÚ. (Provedení stavebně technického průzkumu, spoluúčast na návrhu rekonstrukce objektu, zpracování architektonicko stavební a stavebně konstrukční části).
- **Stavebně technické průzkumy, mostní prohlídky a zpracování mostních listů u desítek mostů (cca 30), lávek (cca 20) a propustků (cca 20) v oblasti Brno- venkov (mikroregion Ivančice).**
- **Statická posouzení několika historických objektů**
- **Rekonstrukce Masarykova mostu v Kolíně:** DPS
- **Experimentální aplikace elastomerní polyurey, aplikace elastomerní polyurey u několika stveb v Německu**





---

## **2019 - VÝBĚR**

- **2019-2018: Novostavba atletického tunelu v Plzni (SOUE Plzeň- Skvrňany)** - (Spoluúčast na návrhu objektu, zpracování architektonicko stavební a stavebně konstrukční části, inženýrská činnost, **aplikace hydroizolace Rhino Linings**).

- **2019-2017: Novostavba pavilonu ÚFE AV ČR vii, Chaberská 57, Praha 8.:** Projekt včetně architektonického návrhu objektu pro hlavní technologii ÚFE- tažení optických vláken. Návrh laboratoří a kancelářských prostor. (Spoluúčast na návrhu objektu, zpracování architektonicko stavební a stavebně konstrukční části, inženýrská činnost, **aplikace hydroizolace Rhino Linings**).

- **Rekonstrukce historického obloukového mostu v Jeseníku:** Návrh rekonstrukce významného historického mostu se zaměřením na zesílení konstrukce a zvětšení zatížitelnosti mostu. Na mostě je navržena **aplikace hydroizolace Rhino Linings**.

- **Realizace historické obvodové zdi obory Hvězda:** Účast na kontrolních dnech během realizace projektovaného záměru. Spolupráce s NPÚ.

- **Realizace rekonstrukce historického mostu v lokalitě Portz Insel + zpracování RDS:** Účast na kontrolních dnech během realizace projektovaného záměru. Spolupráce s NPÚ.

- **Rekonstrukce teras v Lumbeho zahradě (Pražský Hrad):** Zpracování návrhu rekonstrukce historických teras (opěrných zdí) v Lumbeho zahradě včetně návrhu odvodnění. Spolupráce s NPÚ. (Provedení stavebně technického průzkumu, spoluúčast na návrhu rekonstrukce)

- **Rekonstrukce historického objektu PČR Dymokury**

- **2019-2018: Rekonstrukce historického mostu v Děčíně, ul. Revírní**

- **2019-2018: Rekonstrukce historického mostu v Děčíně, ul. Na Hrázi**

- **2019-2018: Rekonstrukce historického mostu v Děčíně, ul. Bezručova**

## **2018 - VÝBĚR**

- **Rekonstrukce historického objektu v Kanovnické ulici (Císařský špitál sv. Antonína- Pražský Hrad):** Návrh rekonstrukce barokního objektu bývalého špitálu sv. Antonína a přestavby na bytový dům. Nově navrženo 29 bytových jednotek. V současné době probíhá zpracování DVZS. Spolupráce s NPÚ. (Provedení stavebně technického průzkumu, spoluúčast na návrhu rekonstrukce objektu, zpracování architektonicko stavební části)



---

**- Rekonstrukce historického atletického stadionu v Karlových Varech**

- **Rekonstrukce Masarykova mostu v Kolíně:** Návrh sanace pěti polí historického mostu (obloukový most, plavební komora a vodní elektrárna). Spolupráce s NPÚ. (Provedení stavebně technického průzkumu, experimentální analýza stávajících hmot a nových technologií, návrh rekonstrukce objektu)

- **Rekonstrukce střech Anežského kláštera pro Národní galerii Praha:** Návrh a projekt revitalizace střešního pláště, opravy a obnovy střešních prvků. Spolupráce s Generálním ředitelstvím NPÚ. (Provedení stavebně technického průzkumu, spoluúčast na návrhu rekonstrukce)

- **Rekonstrukce čtyřech mostů (estakád) a opěrných zdí na Letné:** Spolupráce s NPÚ. (Provedení stavebně technického průzkumu, experimentální analýzy materiálového řešení, návrh rekonstrukce objektu).

- **Rekonstrukce třech mostů v Havlíčkově Brodě - ul. Mírová, ul. Chotěbořská, Šlapanka:** Spolupráce s NPÚ. (Provedení stavebně technického průzkumu, experimentální analýzy materiálového řešení, návrh rekonstrukce mostů).

- **Rekonstrukce mostu v Bílovci:** (Provedení stavebně technického průzkumu, experimentální analýzy materiálového řešení, návrh rekonstrukce mostu).

**2017 - VÝBĚR**

- **Rekonstrukce Šlikova hrádku a výstavba přírodního amfiteatru v Jáchymově:** Návrh sanace Šlikova hrádku, návrh vnitřní dřevěné vestavby a krovu věže Šlikovka. Návrh přírodního amfiteatru, který bude součástí areálu Šlikova hrádku. Spolupráce s NPÚ. (Provedení stavebně technického průzkumu, experimentální analýzy materiálového řešení, návrh rekonstrukce objektu, zpracování architektonicko stavební a stavebně konstrukční části, inženýrská činnost).

- **Rekonstrukce historického mostu přes Mlýnský náhon, Ivančice:** Návrh rekonstrukce mostu, účast na KD - probíhá realizace mostu. Spolupráce s NPÚ.

- **Rekonstrukce a dostavba historické hasičské zbrojnice v Bílině:** (Zpracování architektonicko - stavební a stavebně konstrukční části).

- **Rekonstrukce a přístavba historického objektu PČR v Hostivicích:** Rekonstrukce stávajícího objektu a přístavba nové části - projekt včetně architektonického návrhu. (Zpracování architektonicko stavební a stavebně konstrukční části).



---

- **Rekonstrukce obvodové zdi obory Hvězda:** Rekonstrukce obvodové zdi s využitím historických a novodobých technologií. (Provedení stavebně technického průzkumu, experimentální analýzy materiálového řešení, návrh rekonstrukce objektu, zpracování architektonicko stavební části).

### **2016 - VÝBĚR**

- **Rekonstrukce historického mostu v lokalitě Portz Insel:** Projekt rekonstrukce historického cihelného barokního mostu v lokalitě Portz Insel u Mikulova. Využití historických technologií, výroba replik původních prvků. (Provedení stavebně technického průzkumu, experimentální analýzy materiálového řešení, návrh rekonstrukce objektu, zpracování architektonicko stavební části).

- **Rekonstrukce historického kamenného obloukového mostu v severních Čechách:** (Provedení stavebně technického průzkumu, experimentální analýzy materiálového řešení, návrh rekonstrukce mostu, zpracování architektonicko stavební části).

- **Rekonstrukce a přístavba historické budovy ZŠ:** (Zpracování architektonicko stavební a stavebně konstrukční části - realizováno).

- **Přestavba historického objektu kasáren na objekt sociálního bydlení v Klecanech:** (Zpracování architektonicko stavební a stavebně konstrukční části, účast při kontrolních dnech realizace stavby - realizováno).

### **2015**

- **Rekonstrukce historické zemědělské usedlosti v Horkách nad Jizerou** (realizováno)

- **Realizace a experimentální aplikace hydroizolace Rhino Linings na lávce v Praze 8**