

Stanovení obsahu vlhkosti a vodorozpuštěných solí ve vzorcích z kostela Povýšení svatého Kříže v Doubravníku.

Místo: Doubravník

Objekt: kostel Povýšení svatého Kříže

Zadání: - stanovení obsahu vodorozpuštěných solí ve vzorcích ze zdiva a omítek
- stanovení obsahu vlhkosti ve vzorcích ze zdiva a omítek

Zadavatel: STABIL s.r.o. zastoupená Ing. Petrem Danielelem

Místa odběru vzorků:

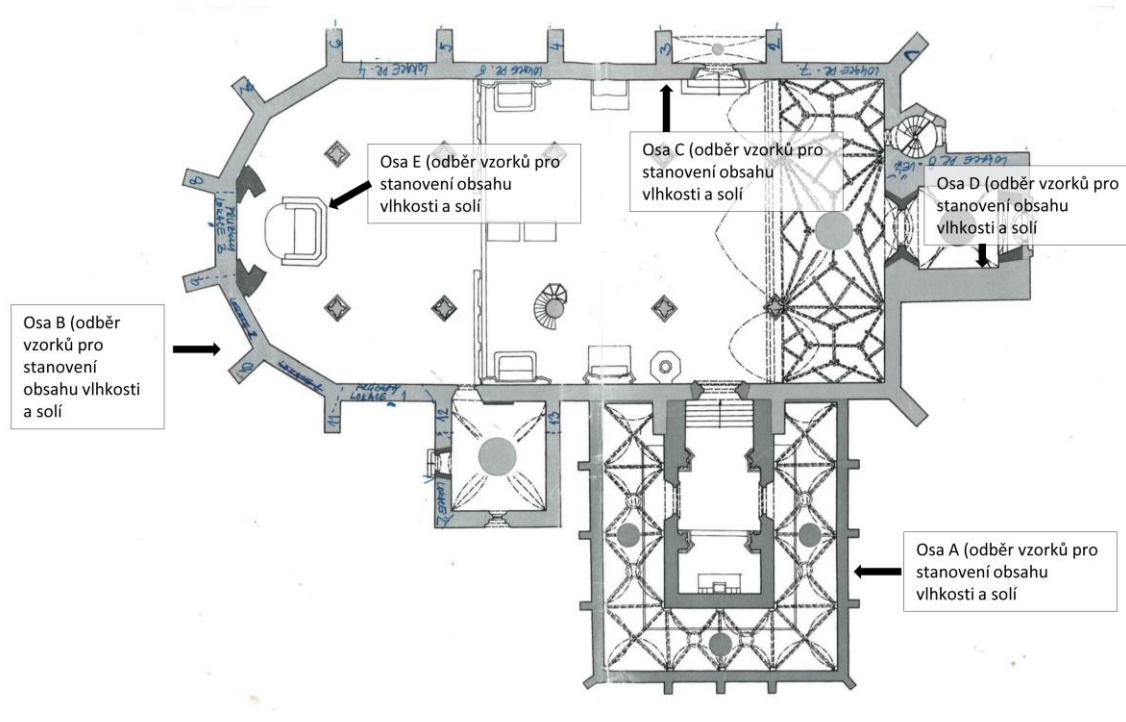
Vzorek	Místo odběru
A1/1	Hrobka Mitrowských, exteriér Z stěna, výška = 95 cm, hloubka = 0-2 cm
A1/2	Hrobka Mitrowských, exteriér Z stěna, výška = 95 cm, hloubka = 0-5 cm
A1/3	Hrobka Mitrowských, exteriér Z stěna, výška = 95 cm, hloubka = 5-10 cm
A2/1	Hrobka Mitrowských, exteriér Z stěna, výška = 170 cm, hloubka = 0-2 cm
A2/2	Hrobka Mitrowských, exteriér Z stěna, výška = 170 cm, hloubka = 0-5 cm
A2/3	Hrobka Mitrowských, exteriér Z stěna, výška = 170 cm, hloubka = 5-10 cm
B1/1	Závěr lodi (presbytář), exteriér SV stěna, výška = 70 cm, hloubka = 0-2 cm
B1/2	Závěr lodi (presbytář), exteriér SV stěna, výška = 70 cm, hloubka = 0-5 cm
B1/3	Závěr lodi (presbytář), exteriér SV stěna, výška = 70 cm, hloubka = 5-15 cm
B2/1	Závěr lodi (presbytář), exteriér SV stěna, výška = 140 cm, hloubka = 0-2 cm
B2/2	Závěr lodi (presbytář), exteriér SV stěna, výška = 140 cm, hloubka = 2-5 cm
B2/3	Závěr lodi (presbytář), exteriér SV stěna, výška = 140 cm, hloubka = 5-15 cm
B3/1	Závěr lodi (presbytář), exteriér SV stěna, výška = 230 cm, hloubka = 0-2 cm
B3/2	Závěr lodi (presbytář), exteriér SV stěna, výška = 230 cm, hloubka = 2-5 cm
B3/3	Závěr lodi (presbytář), exteriér SV stěna, výška = 230 cm, hloubka = 5-15 cm
C1/1	Jižní stěna lodi, interiér, výška = 20 cm, hloubka = 0-2 cm
C1/2	Jižní stěna lodi, interiér, výška = 20 cm, hloubka = 2-1 cm
C1/3	Jižní stěna lodi, interiér, výška = 20 cm, hloubka = 5-15 cm
C2/1	Jižní stěna lodi, interiér, výška = 50 cm, hloubka = 0-2 cm
C2/2	Jižní stěna lodi, interiér, výška = 50 cm, hloubka = 2-1 cm
C2/3	Jižní stěna lodi, interiér, výška = 50 cm, hloubka = 5-15 cm
C3/1	Jižní stěna lodi, interiér, výška = 120 cm, hloubka = 0-2 cm
C3/2	Jižní stěna lodi, interiér, výška = 120 cm, hloubka = 2-1 cm
C3/3	Jižní stěna lodi, interiér, výška = 120 cm, hloubka = 5-15 cm
D1/1	Předsíň pod hranolovou běží, interiér, severní stěna, výška = 30 cm, hloubka = 0-2 cm
D1/2	Předsíň pod hranolovou běží, interiér, severní stěna, výška = 30 cm, hloubka = 2-5 cm
D1/3	Předsíň pod hranolovou běží, interiér, severní stěna, výška = 30 cm, hloubka = 5-15 cm
D2/1	Předsíň pod hranolovou běží, interiér, výška = 90 cm, hloubka = 0-2 cm
D2/2	Předsíň pod hranolovou běží, interiér, výška = 90 cm, hloubka = 2-5 cm

D2/3	Předsíň pod hranolovou běží, interiér, výška = 90 cm, hloubka = 5-15 cm
D3/1	Předsíň pod hranolovou běží, interiér, výška = 160 cm, hloubka = 0-2 cm
D3/2	Předsíň pod hranolovou běží, interiér, výška = 160 cm, hloubka = 2-5 cm
D3/3	Předsíň pod hranolovou běží, interiér, výška = 160 cm, hloubka = 5-15 cm
E1	Oltář, omítka pod štukovým mramorem, výška = 50 cm, hloubka = 0-2 cm
E2	Oltář, zdící malta pod štukovým mramorem, výška = 50 cm, hloubka = 2-5 cm

Použité metody analýz:

Stanovení obsahu anionů vodorozpustných solí (sírany, dusičnany, chloridy) ve vodních extraktech vzorků – VIS spektrofotometrie (*Beckmann-Coulter DU®720*).

Gravimetrické stanovení obsahu vlhkosti (vysušení do konstantní hmotnosti při teplotě 50°C)



Lokalizace míst odběru vzorků

Výsledky analýzy:

Tab. 1. Obsah vodorozpustných solí

Vzorek	Obsah vlhkosti	Sírany		Chloridy		Dusičnany	
	W (hm%)	X _{(SO₄)₂⁻} (hm%)	C _{(SO₄)₂⁻} (mmol/kg)	X _{Cl⁻} (hm.%)	C _{Cl⁻} (mmol/kg)	X _{(NO₃)⁻} (hm.%)	C _{(NO₃)⁻} (mmol/kg)
A1/1	0,79	0,11	12	<0,01	<2,5	0,01	2
A1/2	4,83	0,04	4	<0,01	<2,5	0,01	2
A1/3	15,58	0,02	2	<0,01	<2,5	<0,01	<2
A2/1	0,28	0,08	9	<0,01	<2,5	0,01	2
A2/2	3,29	0,03	3	<0,01	<2,5	0,01	2
A2/3	7,03	<0,01	<1	<0,01	<2,5	<0,01	<2
B1/1	5,41	<0,01	<1	0,01	2	0,02	4
B1/2	6,69	0,06	7	<0,01	<2,5	0,01	2
B1/3	6,93	0,01	1	<0,01	<2,5	<0,01	<2
B2/1	1,35	0,86	90	0,01	2,5	0,01	2
B2/2	2,14	0,07	8	0,01	2,5	0,01	2
B2/3	10,57	0,15	15	<0,01	<2,5	<0,01	<2
B3/1	0,20	0,18	18	<0,01	<2,5	0,02	3
B3/2	0,44	<0,01	<1	0,03	10	0,02	3
B3/3	0,66	0,03	3	0,04	11	0,02	3
C1/1	2,52	0,04	5	<0,01	<2,5	0,01	2
C1/2	7,98	<0,01	<1	0,01	2,5	0,01	2
C1/3	8,40	0,01	1	0,12	35	<0,01	<2
C2/1	1,19	0,20	21	0,12	35	0,11	21
C2/2	1,22	0,16	16	0,05	13	0,06	12
C2/3	5,15	<0,01	<1	0,03	10	0,07	14
C3/1	8,60	0,01	1	0,16	44	0,08	16
C3/2	5,12	0,03	3	0,15	42	0,05	9
C3/3	3,90	0,02	2	0,11	31	0,01	2
D1/1	8,62	0,03	3	<0,01	<2,5	0,01	2
D1/2	8,06	0,02	2	0,01	2,5	0,01	2
D1/3	12,23	<0,01	<1	0,05	15	0,15	28

D2/1	3,98	0,08	9	0,36	100	0,16	32
D2/2	3,81	0,01	1	0,32	90	0,11	21
D2/3	5,51	<0,01	<1	0,32	90	0,17	33
D3/1	2,49	0,10	10	0,25	70	0,17	33
D3/2	2,70	0,00	1	0,30	85	0,18	34
D3/3	4,20	0,06	6	0,19	53	0,09	18
E1	18,87	1,46	152	0,05	13	0,04	7
E2	3,72	0,67	69	0,02	4	0,03	5

Hodnoty uvedené v tabulce červeným písmem lze z hlediska obsahu vlhkosti resp. vodorozpustných solí v minerálních materiálech hodnotit jako zvýšené až velmi vysoké.

Vyhodnocení:

Exteriér

Hrobka Mitrowských

Zdivo na exteriérové, západní straně hrobky Mitrowských je nad soklovým obkladem z mramorových desek zatíženo vztlínající vlhkostí. V hloubce zdiva je ve výšce ca. 1 m tj. těsně nad soklovým obkladem výrazně zvýšená vlhkost a zvýšená vlhkost byla v hlubších částech zdiva zjištěna až do výšky 170 cm. Zatížení vodorozpustnými solemi lze charakterizovat jako nízké až mírně zvýšené a je způsobeno prakticky jen sírany. Obsah dusičnanů a chloridů je nízký. Eroze omítek do značné výšky je zřejmě způsobena hlavně zatékáním vody z poškozené střechy a okapů.

Lod'

Zdivo na exteriérové, severovýchodní straně závěru lodi (presbytář) zatíženo vztlínající vlhkostí, přičemž zvýšená vlhkost v hlubších částech zdiva byla až do výšky 140 cm. Do této výšky bylo zjištěné i značné zatížení vodorozpustnými solemi a podobně jako u exteriérové zdi hrobky Mitrowských je způsobeno zejména sírany. Zjištěný obsah dusičnanů a chloridů v exteriérové části závěru lodi (presbytář) je nízký, naproti tomu je jejich obsah na jižní straně lodi poměrně vysoký až do výšky 120 cm a to i v hlubších vrstvách kolem 10 cm.

Vzhledem ke zjištěnému vysokému obsahu síranů v zadní části lodi a zvýšenému obsahu chloridů a dusičnanů na jižní exteriérové straně lodi lze předpokládat, že soli se výrazně podílejí na poškozování nátěrů, omítek i povrchu zdiva. Je velmi pravděpodobné, že jejich destruktivní vliv byl i důvodem odstranění značné části omítek v soklových partiích kostela a

jejich náhradou velmi nevhodnými, tvrdými, málo pórovitými omítkami (maltami) s vysokým obsahem cementu jako pojiva.

Interiér

Na jižní stěně lodi i v předsíni pod hranolovou věží je zdivo zatíženou vztlínající vlhkostí i vodorozpustnými solemi (zvýšený obsah dusičnanů a chloridů). Toto zjištění dobře koresponduje s poškozeními viditelnými na několika místech interiéru kostela a lze přepokládat, že vodorozpustné soli jsou hlavní příčinou těchto poškození. Vyšší koncentrace vodorozpustných solí byly zjištěny i v omítce a zdivu pod štukovým mramorem. Je proto zřejmé, že i v tomto případě se působení solí významně podílí na poškozování této části výzdoby interiéru kostela.

V Litomyšli, 24.11.2016

Vypracoval:

Ing. Karol Bayer
Katedra chemické technologie
Fakulta restaurování
Univerzita Pardubice



Příloha: Orientační hodnocení míry zavlhnutí a zasolení

1. Orientační hodnocení vlhkosti (platí pro cihelné zdivo nebo vápennou maltu) podle ČSN P 73 0610: Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva.

Vlhkost zdiva (% hm.)	Hodnocení vlhkosti
< 3	Velmi nízká
3-5	Nízká
5-7,5	Zvýšená
7,5-10	Vysoká
> 10	Velmi vysoká

2. Orientační hodnocení míry zasolení podle rakouské normy Önorm B 3355-1

Hodnocení stupně zasolení	Sířany (%hm.)	Chloridy (%hm.)	Dusičnany (%hm.)
Nejsou nutná žádná opatření	< 0,10	< 0,03	< 0,05
Je nutné zvážit dílčí opatření	0,10 – 0,25	0,03 – 0,10	0,05 – 0,15
Opatření jsou nezbytná	> 0,25	> 0,10	> 0,15

3. Orientační hodnocení míry zasolení podle „Altbauten zerstörungssarm untersuchen - Bauaufnahme, Holzuntersuchung, Mauerfeuchtigkeit“; M. Dzierzon; J. Zull; kniha, Müller Verlag, Köln 1990

Stupeň zasolení	Koncentrace solí	Vliv na materiál
I.	0-2,5 mmol/kg	Jen stopy solí, poškození lze vyloučit
II.	2,5-8 mmol/kg	Malé zatížení; při nepříznivých okolnostech už může docházet k poškozením
III.	8-25 mmol/kg	Střední zatížení; při hygroskopických solích může docházet ke zvyšování zavlhčení zdiva; životnost omítek i povrchových úprav je už zkrácená
IV.	25-80 mmol/kg	Vysoké zatížení; životnost omítek i nátěrů je značně omezená; i přes účinná opatření proti vztlínající vlhkosti nedojde k úplnému vysušení zdiva
V.	nad 80 mmol/kg	Extrémní zatížení; poškození vznikají v průběhu krátké doby; vysoká míra hygroskopického zavlhčení