

REHABILITACE SANTINIHO VODNÍHO SYSTÉMU V KLÁŠTEŘE V PLASÍCH REHABILITATION OF SANTINI WATER SYSTEM IN THE PLASY MONASTERY

Řehák Jakub, Burgetová Eva

doc. Ing. Eva Burgetová, CSc.
burget@fsv.cvut.cz

Department of Civil Engineering
Faculty of Civil Engineering
Czech Technical University in Prague
Thákurova 7, 166 29 Prague, Czech Republic

Specialist in the field of building failures and reconstruction with a focus on structural surveys (especially historic buildings), modern diagnostic methods, historical structures and remediation of moisture structures. She is the author of a number of professional publications in journals, many contributions in proceedings of Czech and foreign professional conferences and invited lectures in the Czech Republic and abroad.

Ing. Jakub Řehák
jakub.rehak.1@fsv.cvut.cz

Department of Civil Engineering
Faculty of Civil Engineering
Czech Technical University in Prague
Thákurova 7, 166 29 Prague, Czech Republic

The author with experience in field of structural survey of historic buildings. He has published several papers in journals on topics related to moisture survey, reconstruction and current state of drainage and vent system of historic buildings and structures.

Recenze | Review
prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.
doc. Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.

Klíčová slova: dřevěné piloty; odvodnění; větrání; nevhodné zásahy; degradace dřeva; průzkumy; stopovací zkouška

Abstrakt: V článku je prezentován postup obnovy barokního konventu cisterciáckého kláštera v Plasích založeného na základovém dubovém roštu a pilotách. J. B. Santini navrhl vodní systém pro konzervaci základové konstrukce konventu čistou pramenitou vodou, přiváděnou do jílových bazénů pod klášterem. Tím se udržovala dubová základová konstrukce pod vodní hladinou a byla zajištěna její konzervace. V 19. stol. došlo ke ztrátě znalostí o chování budovy, byly přerušeny všechny vodovody kritické pro stabilitu objektu a uskutečnily se mnohé nevhodné zásahy. Santini pamatoval na tuto možnost a navrhl nouzový režim, který počítal s možností ztráty všech přívodů vody. V nouzovém stavu je stahována okolní voda (splachy z komunikace a polí) do základových bazénů. Tento zdroj vody však neodpovídá požadavkům pro konzervaci základové konstrukce. V nouzovém režimu se stavba nacházela zhruba 70 let do roku 2021, kdy byl částečně obnoven přívod vhodné vody. Článek popisuje obnovu systému, vyhodnocuje její dopad na budovu porovnáním vnitřního mikroklimatu v období před a po opravě a současně ověřuje možnost vysoušení vnitřního vzduchu v konventu pomocí rozstříku studené vody, jež v minulosti zajišťovala barokní fontánka. Na základě výsledků měření lze konstatovat pozitivní vliv opravy na základovou konstrukci kláštera a zlepšení vnitřního mikroklimatu. Stopovací zkouškou bylo identifikováno vzájemné propojení částí vodního systému.

Konvent kláštera Plasy

Barokní klášter Plasy, umístěný v údolní nivě řeky Střely, byl založen na zvodnělých nivních sedimentech, půdách nevhodných pro zakládání velkých staveb. Umístění kláštera však bylo pragmatickým rozhodnutím cisterciáckých mnichů. Jednak byli zvyklí na vodu ideálně proudící napříč klášterní obcí, jednak jim zbylo více obdělávatelné úrodné půdy. To předurčilo na 17. století velice odvážný a unikátní způsob založení kláštera na 5100 dubových pilot a roštu. Autorem návrhu je architekt Jan Blažej Santini-Aichel (1667–1723) [1].



Obrázek 1 – Cisterciácký klášter Plasy (zdroj: kudyznudy.cz [2])

Základová konstrukce konventu

Dubová základová konstrukce pilot a roštu se nachází pod obvodovým zdívem a pod vnitřními nosnými stěnami. Příčné příčky jsou založeny na cihelných klenutých vynašecích pasech, opřeny do hlavních nosných stěn. Z tohoto způsobu založení nenosných stěn vzniklo vyjádření „klášter, který stojí na vlnách“ zmíněné v jednom z rukopisů Mauritiuse Vogta z 18. století [3].

Použité piloty průřezu 17 × 20 cm a hloubky 5–10 metrů se nacházejí pod křížením dubového roštu, což odpovídá osové vzdálenosti 64 cm. Základový rošt podpíraly také pomocné piloty (tzv.

pacholata), nacházející se mezi hlavními nosnými pilotami. Způsob založení byl potvrzen při průzkumných pracích v 90. letech 20. století.

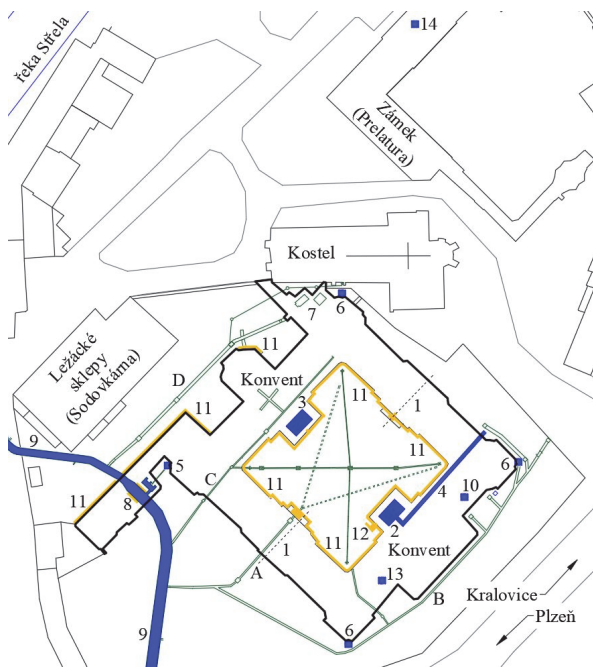
Piloty se před samotným beraněním nejčastěji zašpičatily a spodní konec trámu se opálil (případně i okoval). Po zaberanění na únosnou hloubku se vrchní konec piloty seřízl na požadovanou výšku a opálil, aby byla zajištěna odolnost konstrukce v kritických místech [4].

Popis historického vodního a ventilačního systému budovy konventu

Jedinečnost založení kláštera nepramení z použití dřevěných základů a roštu, ale z použití tohoto způsobu založení částečně nad hladinou podzemní vody. Proto je vodní systém kláštera nejdůležitějším prvkem stavby, jak potvrzuje kryptogram s latinským nápisem „Aedificium hoc sine aquis ruet“ (r. 1790) v překladu „Bez vody se tato stavba zřítí“ umístěný v jednom z kontrolních bazénů. Důležitou částí kláštera je i ventilační systém, který zabráňuje pronikání vlhkosti z terénu rajského dvora uprostřed konventu do zdiva kláštera a podporuje jeho vysoušení.



Obrázek 2 – Klášter Plasy – kryptogram v severním signálním bazénu „bez vody se stavba zřítí“ (zdroj: autor [5])



Obrázek 3 – Schéma odvodňovacího a odvětrávacího systému Pláského kláštera, 1 předpokládána hranice mezi severním a jižním vodním bazénem, 2-3 severní a jižní signální bazény v zrcadlech tříramenných schodišť, 4 Modrá štola, 5 regulační šachta, 6 kontrolní šachty základového roštu, 7 filtrační a napouštěcí místnost, 8 prevetové šachty, 9 Královská štola, 10 studánka pod schody, 11 odvětrávací štoly, 12 srdce ovětrávacího systému, 13 separační šachta (pro nápravu neposlušných mnichů), 14 studna v prelatuře, A-D odvodňovací štoly srážkových a povrchových vod (zdroj: Jakub Řehák [6])

Z dosavadních poznatků je patrné, že vodní a ventilační systém v Pláském klášteře je velmi důmyslný, propracovaný a zcela unikátní a to i v evropském kontextu. Všechny prvky systému mají svůj účel, ale jen společně vytvářejí funkční celek. Celý systém konzervace konstrukce základů i ochrany budovy je rozdělen na jednotlivé části zajišťující konkrétní funkce:

- přívody čisté pramenité vody + filtrační a napouštěcí místnost,
- dva vodní bazény základové konstrukce + kontrolní místa

- odvodňovací štoly srážkových a povrchových vod + hlavní odvodňovací štola,
- ventilační systém.

Přívody čisté pramenité vody + filtrační a napouštěcí místnost.

Voda byla pro život v klášteře velice důležitým prvkem a pro cisterciácký řád obzvlášť. Vodu z řeky Střely mniši využívali primárně jako užitkovou a pro pohon mlýnských kol. Pro konzervaci základové konstrukce však tuto vodu nepovažovali za dostatečně kvalitní. Proto byla kvalitní voda přiváděna aquaduktem a vodovody ze tří pramenů vzdálených až dva kilometry [7]. Tím byl zajištěn neustálý přívod čisté studené vody. V období sucha se voda dovážela i z větších vzdáleností a pomocí napouštěcí a filtrační místnosti (Obr. 3 – bod 7) udržovala základovou konstrukci pod vodní hladinou.



Obrázek 4 – Lokalizace místa jímání vody z pramene (zdroj: P. Duchoň [8])

Vodní bazény základové konstrukce.

Jelikož je základová konstrukce částečně nad hladinou podzemní vody, bylo nutné vodu udržet nad základovou konstrukcí. Tomu napomáhají dva základové jílové bazény [9], ve kterých jsou umístěny dubové piloty s roštem. Do bazénů ústila čerstvě přiváděná voda. K zajištění distribuce vody do všech částí základového bazénu jsou pod základovým roštem umístěny dubové tesané žlaby (Obr. 3). Bazény jsou rozděleny na dvě části, které fungují nezávisle na sobě. Pokud se vypustí voda z jednoho základového bazénu, voda ve druhém zůstane. Oba bazény jsou napojeny na regulační šachtu, která výškou přepadu reguluje hladinu vody ve vodním systému.



Obrázek 5 – Jižní signální bazén (zdroj: autor [10])

Vodní systém je pro budovu konventu tak důležitý, že v prostoru zrcadel tříramenných schodišť byly vybudovány signální bazény (Obr. 3 – bod 2 a 3), umožňující revizi základového roštu i kontrolu hladiny vody v systému. Pro obdobný účel byly vybudovány kontrolní šachty na vnějších rozích objektu (Obr. 3 – bod 6) a Modrá štola (Obr. 3 – bod 4), odhalující další část dubového roštu.



Obrázek 6 – Modrá štola (zdroj: Josef Řehák [11])

Odvodňovací štoly srážkových a povrchových vod + Královská (páteň) odvodňovací štola.

Štoly odvodňující povrchové a srážkové vody (Obr. 3 – bod A–D) také zajišťují čistotu vody ve vodním systému. V případě dešťů odvádějí nevhodnou vodu do hlavní odvodňovací štoly (Obr. 3 – bod 9) a dále do řeky Střely. Královská štola je napojena na řeku Střelu tak, že vytváří umělé rameno řeky.

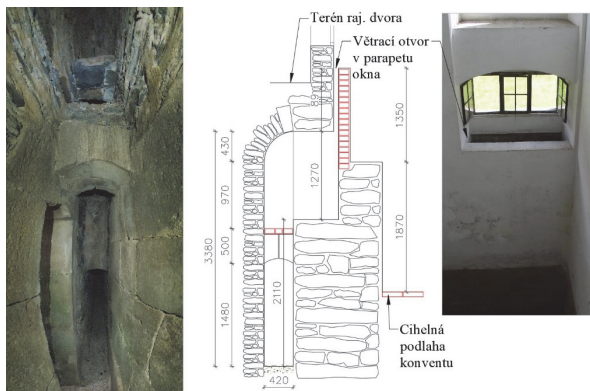
Ventilační systém.

Důmyslný větrací systém byl zbudován kolem rajského dvora a na severozápadní straně budovy konventu (Obr. 3 – bod 11). Terén

rajského dvora je navýšen o 3,5 metru nad úroveň přízemí konventu, aby zakryl zbytky původní románské stavby. Zabránění prostupu vlhkosti z rajského dvora do zdva konventu bylo vyřešeno po celém obvodu rajského dvora průleznou vzdušnickovou chodbou tzv. vzdušníkem. Voda, která zkondenzuje na stěnách vzdušnickové chodby, steče na zem, odkud je odváděna do základových bazénů. Zemní tlak v chodbě vysoké místy až 3,5 m eliminují prampouchy [12].

Pro zajištění dynamiky vzduchu v systému se vzdušník napojil přes místnost přezdívanou „srdce větracího systému“ (Obr. 3 – bod 12) na komínek vedoucí na rajský dvůr, čímž se vytvářel rozdíl tlaků potřebný pro pohyb vzduchu (komínový efekt).

Na vzdušnickovou chodbu jsou napojeny všechny parapety oken ambitové chodby v přízemí, které směřují do rajského dvora. Těmito otvory dochází k proudění vzduchu kolem oken a zabraňuje se tak jejich rosení.



Obrázek 7 – Napojení parapetů oken na vzdušník (zdroj: autor [13])

Problém povrchové kondenzace v kritickém jarním období, kdy teplota a vlhkost venkovního vzduchu roste, zatímco masivní stěny budovy jsou stále chladné, je řešen prouděním vzduchu vzdušnickovou chodbou. Na jaře je stěna vzdušníku přilehlá k zemině

rajského dvora stále chladná, a tak ochladí i nasátý vzduch z exteriéru. Ochlazením vzduchu vykondenzuje vlhkost na stěnách vzdušníku a již suchý vzduch vchází do budovy [14].

Nevhodné zásahy v minulosti

V minulosti několikrát došlo ke změně vlastníků kláštera, čímž byla narušena kontinuita údržby budovy a znalostí systému. Všechny vodovody kritické pro stabilitu objektu byly přerušeny a uskutečnily se mnohé nevhodné zásahy na vodním systému i na konstrukcích kláštera.

V důsledku absence údržby se profil odvodňovacích štol povrchových a srážkových vod z větší části zanesl sedimentem. Byl utěsněn přepad regulující výšku hladiny vody ve vodním systému. Při modernizaci budovy a instalaci splachovacích záchodů bylo odpadní potrubí svedeno do jednoho ze základových vodních bazénů. Výsledkem těchto zásahů byly vodní bazény plné fekálního odpadu s hladinou vystoupanou nad horizontální hydroizolaci z břidličných desek. Aby se tehdejší majitelé zbavili zápachu ze signálních bazénů v zrcadlech tříramenných schodišť, položili na ně železobetonovou desku.

Většinu kritických problémů pro stabilitu objektu se již podařilo opravit, některé však jen částečně. Vzhledem k těžko přístupným místům vodního systému nejsou dosud všechny škody zcela známe a jasné. V současné době je snaha pomocí chemických analýz vody a monitoringu vnitřního klimatu vzduchu pochopit synergii jednotlivých systémů a navrhnout správnou údržbu kláštera [15].

Částečná obnova přetlakového vodního systému

Na základě chemických rozborů vody z okolních zdrojů byla lokalizována studna (Obr. 3 – bod 14) ve sklepení bývalého zámku severně od budovy konventu, jejíž voda je vhodná ke konzervaci dubové základové konstrukce i pro kontakt s pískovcovými bloky zdva kláštera.

Experimentálně bylo položeno PE potrubí, které ústí nad hladinou vody v severním signálním bazénu (Obr. 3 – bod 3). Voda dopadá do bazénu z výšky zhruba 1 m, a tak částečně simuluje rozstřík původní barokní fontánky, která zde byla za dob cisterciáckých mnichů nainstalována. Přívodem vody je vodní systém zásobován kvalitní vodou a souběžně vytlačuje vodu nevhodnou. Proto je tento způsob konzervace základů označován jako „přetlakový“ a odpovídá historické předloze navržené Santinim.

Nouzový režim

Budova se zachovala do dnešních dnů díky Santiniho přístupu, který počítal s variantou, že i přes varovný nápis na kamenné desce může dojít k přerušení vodovodu zásobujících základové bazény. Dnes je tento stav označován jako „nouzový režim“, kdy dochází ke stahování vody do vodních bazénu z okolních ploch. Jedná se především o splachy ze silnic a vodu z přívalových dešťů. Tato voda je nevhodná pro konzervaci dřevěných základových konstrukcí, ale lepší nežli žádná voda. V nouzovém režimu se stavba nacházela zhruba 70 let (tj. 1/5 existence stavby) do listopadu 2021, kdy byl experimentálně obnoven přívod kvalitní vody do části vodního systému.

Popis měření

V rámci experimentální obnovy vodního systému kláštera proběhla celá řada měření. Byly provedeny chemické analýzy vody pro stanovení aktuálního stavu znečištění vodního systému a pro zajištění referenčních hodnot pro další měření. Stopovací zkoušky umožnily lepší pochopení vzájemné propojenosti jednotlivých částí vodního systému. Měření vnitřního mikroklimatu v období před i po obnovení přetlakového vodního systému byla vyhodnocena účinnost opravy.

Chemické analýzy vody, experimentální instalace nového zdroje vody

Ve větší části vodního systému se potvrdilo více než 10mg/l agresivního CO₂, (průměrně 11,31mg/l), jehož snížení by mělo pomoci provzdušňování vody rozstříkem z fontánek nebo přidání vápence do vody. Z hlediska organických látek (dle CHSK_{Mn} a C_{Org}) je voda v systému na úrovni pitné vody.

Tyto výsledky byly také porovnány s chemickou analýzou anorganických makrosložek z roku 1994 (po vyčištění vodního systému od fekálního znečištění). Významným úspěchem je zejména snížení dusičnanů (z fekálního znečištění) ve většině systému cca o 20 %, v některých místech dusičnany zcela zmizely (nejspíše působením denitrifikačních bakterií) [14].

Stopovací zkouška

Po částečné obnově přetlakového vodního systému bylo do severního signálního bazénu aplikováno xanténové fluorescenční barvivo tzv. uranin.



Obrázek 8 – Klášter Plasy – Severní signální bazén, aplikace uraninu (zdroj: autor [16])

Po aplikaci barviva se v hodinových intervalech odebíraly vzorky vody v navazujících částech systému pro potvrzení vzájemné propojenosti jednotlivých prvků vodního systému. Z měření fluorescence bylo patrné propojení severní kontrolní šachty pouze s regulační šachtou (hlavním odtokem vodního systému).

Stopovací zkoušky budou i nadále pokračovat, neboť je potřeba identifikovat a pochopit vzájemnou synergií jednotlivých částí systému.

Vliv relativní vlhkosti a teploty vzduchu

Po experimentální instalaci fontánky v severním signálním bazénu kláštera byla osazena čidla měřící relativní vlhkost a teplotu vzduchu. U severního signálního bazénu je osazeno celkem 6 čidel zachycujících změnu klimatu v blízkosti rozstřikující fontány a jedno čidlo zaznamenává parametry vstupního vzduchu proudícího do kláštera v komínku vedoucího do rajského dvora (Obr. 3 – bod 12).

Měření probíhala v období 1.1.2021 – 1.11.2021 (referenční měření – před obnovením přetlakového vodního systému) v prostoru severního signálního bazénu a v období 1.1.2022 – 1.11.2022 po obnovení přetlakového vodního systému s rozstřikem vody.

Průměrná relativní vlhkost vzduchu byla po obnově fontánky o 7 % nižší než v období před obnovou. Vzduch naměřený na nejnižším čidlu (nejvíce ovlivněn rozstřikem vody) byl o 6% sušší než relativní vlhkost vzduchu stejného čidla v období před obnovou fontánky.

Závěr

Klášteř Plasy je zcela unikátní stavbou založenou i na dnešních poměry v obtížných geologických podmínkách. Nejdůležitější částí stavby jsou základy a stavitel Santini si toho byl vědom, proto vynaložil nemalé prostředky na jejich vhodnou konzervaci, včetně řešení „nouzového režimu“, díky kterému se stavba dochovala dodnes.

Po opuštění kláštera cisterciáckými mnichy docházelo k nevhodným zásahům do budovy a k postupné destrukci konstrukcí. Výsledkem bylo přerušení vzájemných vazeb vodního a ventilačního systému. Do dnešní doby se již podařilo většinu stabilitu ohrožujících poruch opravit a nouzový režim ukončit. Nejdůležitější vodní systém je však opraven pouze částečně a provizorně.

Chemické analýzy vody stanovily výsledky, které budou sloužit jako výchozí pro porovnání změn vodního systému kláštera. Voda ve vodním systému je mírně agresivní vůči kontaktním konstrukcím. Tyto parametry ovšem lze snadno regulovat přidáním vápencového kameniva do studny, sloužící jako nový zdroj vody pro přetlakový vodní systém. Instalací fontány do signálních bazénů a následným účinnějším provzdušňováním vody dojde k dalšímu snížení agresivity vody v systému. Stopovací zkouška potvrdila rozdělení vodních bazénů na dvě nezávislé části a vzájemnou propojenost do odtoku v regulační šachtě.

Obnovením části vodního přetlakového systému a rozstřikem nově přiváděné vody v severním signálním bazénu byly změněny parametry vnitřního mikroklimatu budovy. Na základě monitorování relativní vlhkosti a teploty vzduchu v severním signálním bazénu lze konstatovat, že simulace barokní fontány zajišťující rozstřik studené vody v interiéru budovy vnitřní mikroklima nezhoršuje, ba naopak jej mírně zlepšuje. Rovněž účinné se ukázalo obnovení vzdušníku kolem rajského dvora, který velice efektivně upravuje hodnoty vzduchu vcházející do interiéru budovy.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS 23/098/OHK1/2T/11.

Použité zdroje:

- [1] HORYNA, Mojmír. *Jan Blažej Santini-Aichel*. Praha: Karolinum, 1998. ISBN 80-7184-664-3.
- [2] Cisterciácký klášter Plasy. In: *Kudyznudy.cz* [online]. Praha: Redakce Kudy z nudy, 2021 [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: <https://www.kudyznudy.cz/aktuality/cisterciacky-klaster-plasy-nabidne-letos-novou-pro>
- [3] VOGT, Mauritius. *Chronici Plassensis privati "Tilia Plassensis"*. Praha: Antonín Podlaha, 1909.
- [4] ŘEHÁK, Josef, Radka TĚŠÍNSKÁ LOMIČKOVÁ a Stanislav ŘEHÁK. Skrytý svět klášterního areálu v Plasích. In: *Proměny plaského kláštera (1145–2015)*. V Mariánské Týnici: Muzeum a galerie severního Plzeňska, p.o. ve spolupráci s Národním technickým muzeem a Národním památkovým ústavem – Správou kláštera Plasy, 2015. ISBN 978-80-87185-20-9.
- [5] ŘEHÁK, Jakub. Klášter Plasy – kryptogram v severním signálním bazénu „bez vody se stavba zřítí“ [foto]
- [6] ŘEHÁK, Jakub. Schéma odvodňovacího a odvětrávacího systému Plaského kláštera [plánek] na základě podkladů Řehák – SPELEO s.r.o.
- [7] ZAHÁLKA, Kaplan. *Mapa stok a vodovodů plaských*. Plasy, 1882.
- [8] DUCHOŇ, Pavel. Lokalizace místa jímání vody z pramene. Plasy, 2016. (podklad: I. Kornatovský)
- [9] ŘEHÁK, Josef. Klášter Plasy: *Odvodňovací a zavodňovací systém, Speleologický průzkum čtvrtá část*. Horská Kamenice 74 Železný Brod: SPELEO – Řehák, 1996.
- [10] ŘEHÁK, Jakub. Klášter Plasy – Jižní signální bazén [foto]
- [11] ŘEHÁK, Josef. Klášter Plasy – Modrá štola, [foto] Klášter Plasy 2011. Nепublikováno
- [12] ŠKABRADA, Jiří. *Konstrukce historických staveb*. Praha: Agro, 2003. ISBN 80-7203-548-7.
- [13] ŘEHÁK, Jakub. Napojení parapetů oken na vzdušník [foto]
- [14] ŘEHÁK, Jakub. *Rehabilitace Santiniho vodního systému v klášteře v Plasích*. Praha, 2022. Diplomová práce. ČVUT.
- [15] ŘEHÁK, Jakub, Eva BURGETOVÁ a Josef ŘEHÁK. *Current State of Drainage and Vent System of the Plasy Monastery*. *Advances in Science and Technology*. 2021, (109), 35-45.
- [16] ŘEHÁK, Jakub. Klášter Plasy – Severní signální bazén, aplikace uraninu [foto]