

Historické systémy větrání

Historical ventilation systems

Ing. Markéta GÄRTNEROVÁ,
Ing. Miloš LAIN,
Ing. Martina URIE
ČVUT v Praze,
Ústav techniky prostředí

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Článek se zabývá historickými systémy větrání z doby před průmyslovou revolucí. Vývoj větrání je rozdělen do tří kapitol, prezentujících systémy ze starověkého Egypta, Antiky a přelomu 19. století. Samostatná část je věnována rozsáhlému systému v barokním klášteře Plasy.

Klíčová slova: větrání, historické objekty

The article deals with historical ventilation systems from the period before the industrial revolution. The development of ventilation is divided into three chapters presenting the ancient Egypt systems, ancient world systems and systems of the turn of 19th century. An independent part is devoted to the large-scale system in Plasy baroque monastery.

Key words: ventilation, historical buildings

Technika větrání uzavřených místností vznikala již v dávných dobách a po celá minulá tisíciletí se neustále rozvíjela a zdokonalovala. Osvobozovala se od náhodných vlivů a chyb, které nastávaly vzhledem k měnícím se podmínkám, místu a času. Ve všech etapách svého vývoje je větrací technika nerozlučně spojena s kulturou a způsobem života. Pro lepší orientaci v souboru otázek dnešního stavu vědy a techniky větrání, je velmi důležitá znalost historie tohoto oboru. Nedostatečné vědomosti o výsledcích dosažených v minulosti vedou k tomu, že lidé vynalézají již vynalezené, a tak zbytečně promarní své síly a prostředky.

STAROVĚKÝ EGYPT

Pravděpodobně nejstarší doložené příklady horizontálních větracích systémů můžeme nalézt v egyptských chrámových stavbách z doby okolo roku 2500 před Kristem (3. až 5. dynastie). Jedná se často o kombinaci větrání a odvodňování ploch. Jako příklad lze uvést velmi zachovalé provětrávání stropů kaplí a s ním spojené odvodnění terasovitých střech Sahureova chrámu v egyptském Abúsiru. Do skladby ploch je zabudován systém samostatných kamenných tvarovek s vytesanými konic-kými, konkávně prohnutými žlábkami, které na sebe v celkové vazbě přesně navazují (obr. 1 a 2). Výška vzduchového polštáře se pohybuje od 2 cm až po 10 cm i více. To je dobrý předpoklad pro účinné proudění vzduchu. Při rekonstrukci tohoto větracího systému (za použití materiálu německého archeologa L. Borcharta) byla nalezena místa, která pravděpodobně sloužila ke svádění proudu vzduchu – komíny (jejich vlastní tělesa však nalezena nebyla). Za zmínku stojí i kombinace větracího a odvodňovacího systému ve střeše kaple. Horizontální otvory pro přívod vzduchu, které k proudění vzduchu využívají teplotní spád mezi rozpálenou střechou a ustálenou teplotou v interiéru (hmotné střešní desky a relativně subtilní desky stropní ten-to jev ještě podporují), jsou připojeny k provětráva-

címu systému přilehlé dlažby. Lze předpokládat, že teplý proudící vzduch měl ještě jednu nezanedbatelnou funkci, a to vysoušení staveb.

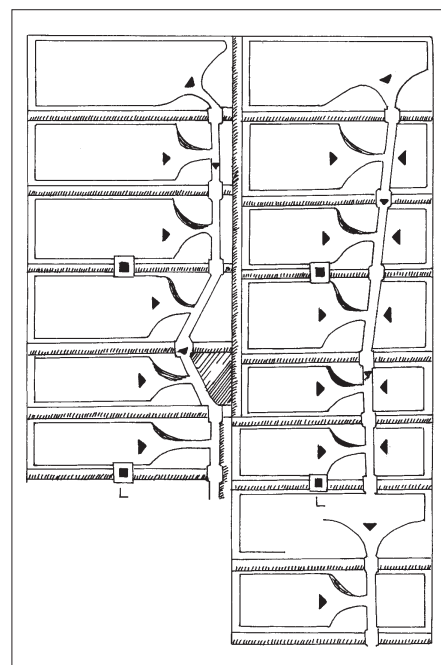
ANTIKA

Antická architektura v horkých podnebních pásmech dbala neměnných principů a zásad, které vycházely z teoretických spisů filozofů a architektů (Vitruvia, Plinia, Theopasta). Budovy se ochlazovaly gravitačním a náporovým větráním s využitím funkce fontán a parkové zeleně.

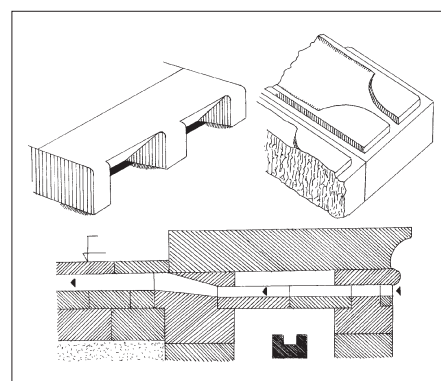
Staří Římané kladli při výstavbě domů a měst důraz především na to, aby stály na zdravém místě, tj. v dostatečné vzdálenosti od bažin a mokřin nebo míst, kde by byl pach z odpadních vod a příkopů. Zdůrazňovali, že nejdůležitější k životu je vzduch a nezdavější že je samozřejmě vzduch čistý.

V krajích s chladnějším podnebím byly ulice rovné a široké, aby si vysoké domy navzájem nestínily. Ulice byly dlážděné a uprostřed vyduť. Musely mít takový spád, aby voda stékající ze střech domů rychle odtékala a tak omývala ulice. Nesměla zůstat nikde stát, aby nedocházelo k jejímu zahňívání, protože tím by kazila čistý vzduch. Naopak v krajích s horkým podnebím byly ulice úzké, aby si domy navzájem vytvářely stín, a tak město ochlazovaly. Rovné ulice nesměly stát v přímém směru větru, ale tak, aby vítr domy a dláždění pouze províval a tak je větral.

Nezanedbatelným prvkem architektury starého Říma byly lodžie, které stínily okna a vchody do místností, a tak snižovaly tepelné zisky. Souvislé loubí obklopovalo vnitřní okrasné nádvoří s bazénem, který zajišťoval zvlhčování vzduchu. Kolem dokola byly místnosti obývané v létě, s okny a dveřmi, které se otevíraly směrem k loubí a do zahrady. Velká okna byla orientována na sever. Menší jižní okna byla opatřena žaluziemi, které zůstávaly přes den zavře-



Obr. 1 Schéma ukládání tvarovaných větracích kamenných desek s předpokládaným vyústěním do komína



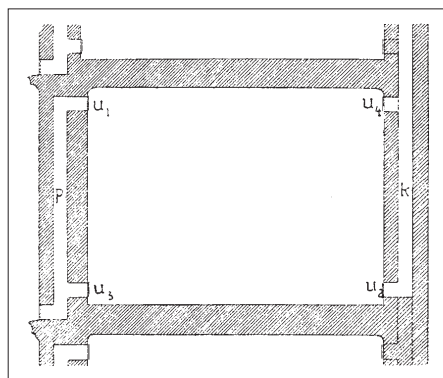
Obr. 2 Detaily kamenných tvarovaných desek a schéma provětrání střešní kaple s připojením na větrací systém dlažby

né. Věděli, že horký vzduch proudící těsně kolem fasády vzhůru by se otevřenými okny dostával přímo do místnosti. Důležitou roli měla rovněž prostorná schodiště s velkými okny a východem na galerie. Dveře se stavěly v jedné přímce za sebou. Palladio píše: „Dveře musí být také proti sobě, aby bylo možno z jedné části domu vidět až do druhé, což přináší půvab a svěžest v létě i jiné pohodlí“.

PŘELOM 19. A 20. STOLETÍ

Díky průmyslovému rozvoji začíná docházet ke stále větší koncentraci obyvatel ve městech. Aby měli lidé kde bydlet, staví se stále vyšší, ale hlavně hlubší řadové činžovní domy. Odvětrání bytů v těchto domech se řešilo vertikálními větracími šachtami, které procházely od úrovně země celým domem. Do těchto šachet (světlíků) byla většinou umístěna okna z kuchyní, WC a popřípadě koupelen. Jednalo se o klasický případ přirozeného ovětrání, založeného na rozdílu tlaku vzduchu ve větrací místnosti a vnějšího tlaku vzduchu. Otevřenými okny nebo infiltrací byl do místnosti nasáván čerstvý vzduch, který procházel celým bytem, kde se ohřál. Z prostoru kuchyně nebo WC pak byl nasáván do světlikové šachty, která byla prohrátá prostupem tepla přes zdi okolních bytů. Tento systém větrání však selhal v letním období, kdy byly stěny světlíku chladnější než okolí. Vzduch se pak v šachtách ochlazoval a proudil směrem dolů anebo při vyrovnání teplot neproudil vůbec. Plocha světlíku byla dimenzována podle počtu bytů na něj napojených. Aby byla zajištěna správná funkce světlíku, měl by být v jeho spodní části spojovací kanál, vedoucí z prostoru vně objektu. Pokud byly světlíky zastřešené, muselo se dbát na to, aby nebyl snížen tah v šachtě. Pokud by tomu tak bylo, byl by vzduch odváděn z bytů v nižších patrech nasáván do bytů v patrech vyšších. Další nevýhodou světlíků je, že si je lidé často pletou se smetištěm – tím dochází k ucpávání přívodního kanálu, jehož funkci pak musí zastávat byty v nižších podlažích, ve kterých z tohoto důvodu dochází k extrémní infiltraci.

Samostatné větrací systémy se zřizovaly většinou ve veřejných místnostech, kde docházelo k velké



Obr. 3 Uspořádání otvorů při přirozeném větrání

koncentraci osob. Jednalo se převážně o školy, nemocnice, taneční sály, divadla apod., kde přívod čerstvého vzduchu infiltrací nebyl postačující. Minimální množství větracího vzduchu záleželo na účelu, k jakému byla místnost nebo budova využívána. Ve školách a divadlech bylo minimální množství větracího vzduchu dokonce předepsáno stavebním zákonem (část Zemského zákona).

Do místnosti, která měla být větrána, většinou ústily dva průduchy – přívadecí a odvádecí. Jeden byl obvykle umístěn u podlahy a druhý u stropu (obr. 3). Z každého průduchu pak ústily dvě odbočky do místnosti. Přívadecí průduch je veden pro každou místnost samostatně a je propojen s otvorem ve zdi fasády. Odvádecí průduchy vedou od podlahy větrané místnosti vertikálně celou budovou až pod střechu (to není dobré řešení, neboť vlhký a teplý vzduch ničí vazbu krovu), nebo se přivádí až nad hřeben střechy (musí být zakryt deskou, která zamezuje vnikání sněhu a deště). Průduch by měl mít hladký povrch a vést pokud možno svisle vzhůru. Aby se podpořil jeho tah, doporučuje se vést jej podél komínů. V zimě vstupuje do místnosti studený vzduch přívadecím otvorem horního průduchu, zatímco spodní otvor je uzavřen. Chladný vzduch se smísí s teplým vzduchem v místnosti a je odváděn otvorem při podlaze od odvádecího průduchu. Spodní klapka by měla být otevřena stále (jen pokud nastanou tuhé mrazy, se zavírá, aby nedocházelo k velkým tepelným ztrátám). Horní klapka odvádecího kanálu je uzavřena a otevírá se jen tehdy, pokud potřebuje místnost rychle odvětrat (pokud osvětlení v místnostech zajišťovaly petrolejové nebo plynové lampy, bylo tak zajištěno odvětrání zplodin hoření z místnosti nejkratší cestou). Aby vzduch neklesal ve spojitě proudící a nezpůsoboval tak průvan, mohl se proud přívadecího vzduchu nasměrovat šikmo ke stropu. V létě se větrání uskutečňuje opačným způsobem. Čerstvý vzduch se přivádí do místnosti přívodním otvorem spodního průduchu, zatímco horní přívodní otvor je uzavřen klapkou. Teplý vzduch pomalu stoupá vzhůru ke stropu a odvádí se odvádecím otvorem horního průduchu (dolní klapka je uzavřena).

U budov, jako jsou divadla, koncertní sály a zasedací místnosti, ve kterých lze předpokládat velkou koncentraci osob a osvětlení plynovými lustry, nebo v restauracích, kavárnách a plesových sálech, kde se kouří, nelze výše uvedený způsob větrání použít. Přiváděný čerstvý vzduch by se smísil s tabákovým dýmem a zplodinami způsobenými hořením plynu nebo petroleje a vrátil by se opět do pobytové zóny, kde by byl znovu dýchán. Čerstvý vzduch je proto přiváděn otvory při podlaze nebo v podlaze (u divadel), a to tak, aby proudil stejnoměrně malými rychlostmi a nezpůsoboval průvan. Odpadní vzduch stoupá ke stropu, odkud je rovněž mnoha otvory sveden do centrálního průduchu, který vyúsťuje nad střechou. Může být také odváděn jediným otvorem zakrytým ozdobnou mříží, umístěným uprostřed stropu nad lustrem. Ten při svícení vydá-

vá teplo, kterým se odpadní vzduch u stropu ohřívá, a tím se zvyšuje tah proudění v odváděcím průduchu. Po zhasnutí světla se průduch uzavře klapkou, aby se zabránilo proudění studeného vzduchu do místnosti. Další způsob umělého ohřevu vzduchu (podchlazení je nežádoucí z hlediska snižování tahu) v odváděcím průduchu mohlo být plynovým hořákem umístěným přímo v průduchu. Pokud byly jednotlivé odváděcí průduchy v budově svedeny do společného sběrného průduchu a následně do komína, jehož tah je zejména při vyšších letních teplotách nedostatečný, bylo přímo v prostoru komína umístěno zvláštní ohniště, které sloužilo k ohřevu vzduchu v komíně, a tím přispívalo k vytvoření dostatečného tahu.

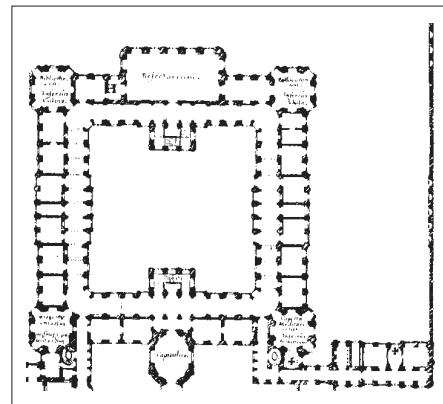
Rychlý technický vývoj na konci 19. století byl příčinou i zásadní změny ve způsobu větrání. Používáním zařízení na dopravu vzduchu byla započata era nuceného větrání.

PLASY

Jako příklad zajímavé architektonické a také technické památky s rozsáhlým vzduchotechnickým systémem může posloužit bývalý cisterciácký klášter v Plasech, kde se dochoval původní barokní ventilační systém.

Stavba kláštera byla umístěna do rozbahněného území, ve kterém převládaly mělké podzemní vody, což představovalo v tehdejší době závažné problémy v zakládání stavby. Stavitelé tento problém vyřešili tak, že základy nesl dřevěný rošt na dubových pilotech, které musely být trvale ponořeny pod hladinou, aby nedocházelo k jejich zkáze. Jelikož vlastní základy konventu jsou trvale pod vodou a neustále zde působila kapilární vlhkost, bylo nutno zajistit řádné větrání nosného zdiva. To byl jeden z hlavních důvodů, proč byl celý systém odvětrání konventu realizován.

Stavba má přibližně čtvercový půdorys (obr. 4) s Rajským dvorem umístěným uprostřed. Rajský dvůr je přístupný z prvního patra (reprezentativní místnosti) a oproti okolnímu terénu je navýšen



Obr. 4 Původní Santiniův plán kláštera v Plasech

o cca 3,5 m. Po celém vnitřním obvodu stavby je z vnější strany zdi průlezná chodba, nepravidelně zděná lomovým kamenem, překrytá čtvrtkruhovou klenbičkou a rozepřená rozpěrnými tesanými opěráky proti tlaku zeminy Rajskeho dvora. Výdechy větracího systému ústí do parapetů pod okny chodby v přízemí, která je kolem celého dvora. Tyto otvory o rozměrech přibližně 40 x 148 cm jsou pod každým oknem tři a jsou částečně zakryty zděnou příčkou. Výsledný výdechový průřez tak je přibližně 120 x 200 cm.

Větrací chodba je s venkovním prostorem propojena svislou obdélníkovou šachtou průřezu 15 x 30 cm.

Popis funkce větracího systému

U větracího systému v konventní budově se pravděpodobně jedná o systém ochrany proti zemní vlhkosti a vysoušení zdiva. Vzduch je do systému nasáván svislou šachticí z prostoru Rajskeho dvora do podzemní kobky, jejíž funkce není přesně známa. Přebíhá názor, že zde mohlo docházet ke kondenzaci vlhkosti z přiváděného vzduchu. Z kobky vzduch pokračuje dále do větrací chodby. Ověření funkce systému je obtížné, neboť vstupní otvory do kobky a větrací chodby zůstávají otevřeny a to výrazně ovlivňuje proudění vzduchu systémem. Vlhký vzduch proudí z prostoru nádrže do kobky a tam kondenzuje na stěnách. Pro správnou funkci systému by měl být vchod uzavřen.

Rychlost proudění vzduchu větrací chodbou kolem Rajskeho dvora je vzhledem k poměru průřezu přívodních otvorů a chodby velmi malá. Do celé chodby vzdušník jsou v prostoru nad parampouchy (hlavice) prostupy do suterénu kryté příčkou tak, aby při horní straně zůstal průchod pro proudění

vzduchu. V přízemí v chodbě je celkem 52 otvorů pravidelně rozmístěných kolem celého půdorysu. Výsledná plocha těchto otvorů je několiknásobně větší než plocha sacího otvoru. Budeme-li předpokládat výstupní rychlost z každého otvoru vzdušníku 0,1 m/s, potom by v sacím otvoru do kobky musela být rychlost okolo 40 m/s a objemový průtok 1,25 m³/s, což je pro vertikální vzdálenost otvorů 0,76 m bez použití ventilátoru neuskutečnitelné.

Velikost otvoru pro přívod vzduchu nás vede k přesvědčení, že se nejedná o systém pro přívod čerstvého vzduchu, ale pouze o systém větrací ve smyslu ochrany proti vlhkosti. Přívod čerstvého vzduchu do chodby byl potom zajišťován především okny. Větrací chodba byla jedním z prvků, který zajišťoval cirkulaci vzduchu kolem nosného zdiva, a tím zajišťoval jeho odvlhčení. Nosné zdivo bylo sice od základového (které bylo částečně pod vodou) odizolováno spojitým pásem břidlice (historická obdoba hydroizolační folie), ale přesto by vztlínající vlhkost vážně ohrožovala stavbu.



Obr. 7 Střechy jsou větrány otvory ve vikýřích, aby nedocházelo k akumulaci tepla a vlhkosti v půdních prostorách.

Chodba zastávala také důležitou funkci temperující. Hmoty Rajskeho dvora zde funguje jako akumulátor – v zimě dodává směrem do chodby teplo (v této hloubce má zemina standardní teplotu kolem 8 °C) a v létě naopak udržuje prostor dlouho chladný.

Za další větrací prvky, které podporují přirozené proudění vzduchu v budově, můžeme považovat dvě dominantní schodiště, která procházejí budovou od suterénu (od kontrolních bazénů) až po střechu objektu. Schodiště pracují na principu komínového tahu. Rozdíl hustot se ještě mírně zvyšoval navlhčením vzduchu od vodní hladiny bazénů u paty schodiště.

V zimních měsících se na výměně vzduchu pravděpodobně nejvíce podílely obrovské komínové průduchy. Místnosti se vytápěly z vnějšku z chodeb. Netěsnostmi okolo kamnových dvířek se do komína nasával vzduch z chodby, který byl následně infiltrován okenními spárkami a skulinami v chodbě.

Kaple, která je zabudována do hmoty konventu, je odvětrávána lucernou, která výrazně převyšuje objekt (obr. 8). Velmi dobrou regulaci průtoku vzduchu zde zajišťují okénka s uzavíratelnými prvky.

Nemocniční křídlo konventu mělo samostatný větrací systém. Toto křídlo je postaveno nad umělé svedeným ramenem řeky Střely (královská štola), jež mělo významnou funkci pro celý systém.

Historické větrací systémy pracovaly většinou v souvislosti s kanalizací (nemocniční křídlo bylo je-



Obr. 5 Přívodní otvor z kobky do vzdušníku



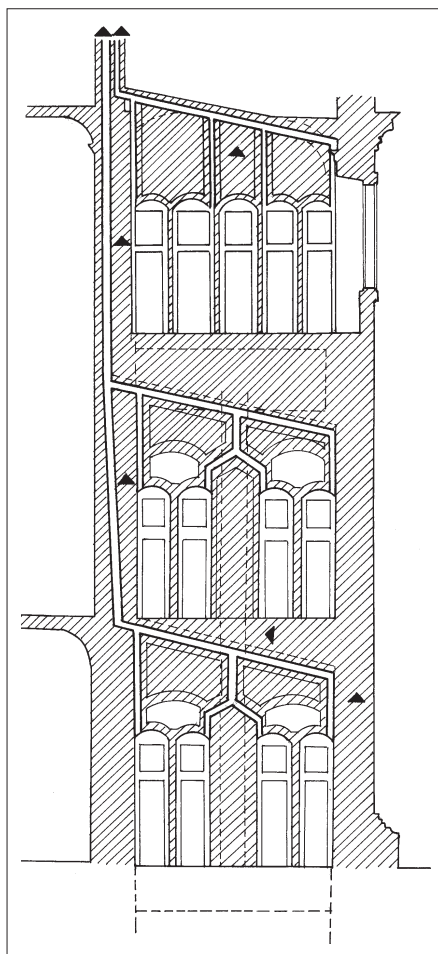
Obr. 6 Santiniho schodiště



Obr. 8 Kaple odvětrávaná lucernou



Obr. 9 Prevetová šachta



Obr. 10 Řez nemocničním křídlem – odvětrání záchodů

diným místem konventu, kde byly záchody). Hygienické zařízení bylo třípatrové a umístěné nad hladinou řeky Střely. Proudící voda sloužila k odvodu sekretů. Svislá šachta byla vybudována z pečlivě opracovaných kamenných kvádrů. Jednotlivá sezení záchodů (prevetů) jsou na kamenných krakor-

cích a záchody jsou střídavě přesunuty podle pater a odděleny kamennou zdí nesenou vynášecím obloukem (obr. 9). Jednotlivé kobky záchodů jsou odvětrány průduchy u stropu, které jsou svedeny do svislého průduchu vedoucího až nad střechu (obr. 10). Z prevetové šachtice pak vede větrací komín (obr. 11). Větrání zde opět funguje na principu komínového tahu. V zimě se vzduch ve svislé šachtě ohřívá od okolních místností. Jeho teplota je vyšší než teplota okolního vzduchu a začíná proudit směrem vzhůru. V létě je směr proudění vzduchu opačný, protože venkovní vzduch je teplejší než vzduch v šachtě (jedná se o stavbu s velkou akumulací schopností).



Obr. 11 Větrací komín vedoucí z prevetové šachtice

Tento barokní větrací systém lze považovat za velmi promyšlený a technicky zajímavý. Vzhledem k citlivé rekonstrukci objektu je i nyní možné jej shlédnout při návštěvě. Proto by tato technická památka neměla uniknout širšímu zájmu odborníků i široké veřejnosti.

Literatura:

- [1] KIBIC, K.: Dějiny architektury III., Vydavatelství ČVUT, Praha 1999
- [2] PAVLÍK, M.: Regenerace historických budov, sídel a krajiny, ochrana památek, Vydavatelství ČVUT, Praha 1998
- [3] KOHOUT, J., TOBEK, A.: Zednictví, 8. vyd., Grada Publishing, 1998
- [4] SEIFFERT, K.: Wasserdampfdiffusion im Bauwesen., 3. vyd., Bauverlag GmbH, Weisbaden 1982
- [5] Sborník Pražského ústavu památkové péče. Nakladatelství Oswald. Praha 1992
- [6] PALLADIO, A.: Čtyři knihy o architektuře, Přel. L. Macková, Státní nakladatelství krásné literatury, hudby a umění, Praha 1958, Přel. z : I quattro libri dell'architettura di Andrea Palladio
- [7] PETRÁŇ, J. a kol.: Dějiny hmotné kultury, I., 1. a 2. sv., Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1985
- [8] CHARVÁTOVÁ, K.: Dějiny cisterciáckého řádu v Čechách 1142–1420., Praha 19
- [9] GIBBS-SMITH, C.: The inventions of Leonardo da Vinci., Oxford, 1998
- [10] SINGER, Ch.: A history of technology., Oxford, 1957
- [11] HORYNA, J.: Jan Blažej Satini., Praha, 1998
- [12] PAVLÍK, M. a LANCINGER, L.: Stavebně-historický průzkum Plasy., Praha, 1975
- [13] ŘEHÁK, J.: Odvodňovací a zavodňovací systém kláštera Plasy., Speleologický průzkum č. 1, Speleo, 1993
- [14] YOUNG, M.: Santini-Aichel's design for the Cistercian monastery at Plasy in western Bohemia., New York, 1994
- [15] OTTO: Ottův slovník naučný, Praha, 1907
- [16] FIALKA, J.: Vnitřní výstavba budov, Praha: Česká Matice technická, 1898
- [17] PURKYNĚ, J. E.: Ústřední topení a větrání, Praha: Česká Matice technická, 1900
- [18] MORÁVEK, P.: Historie větrání, Stavba, 1999, č. 1, s. 48
- [19] ČERVENÁK, J.: Jiné pohledy na staré stavby a jejich prvky, Stavba, 1999, č. 1, s. 46., 1998, č. 5, s. 42. č. 6, s. 42
- [20] ŘEHÁK, J. a kol.: Klášter Plasy – průzkum větracího kanálu Rájského dvora. Speleo, 1998
- [21] BALÍK, M.: Vysušování zdiva III. Praha: Grada Publishing, 1999
- [22] GÄRTNEROVÁ, M.: Původní vzduchotechnické systémy historických budov, Diplomová práce, ČVUT v Praze 1999
- [23] GÄRTNEROVÁ, M., LAIN, M., SCHNEIDEROVÁ, E.: The Original Ventilation Systems of Historical Buildings In: Proceedings of Workshop 2000. Prague: CTU, 2000, vol. B, p. 615. ISBN 80-01-02229-3. ČVUT: Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí 2000.