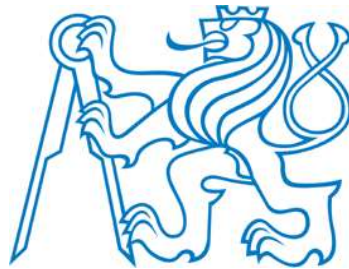


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Možnosti odstranění vlhkosti podsklepených objektů

Various options for removal humidity from the basements

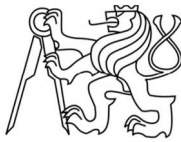
Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, provoz a realizace staveb

Vedoucí práce: **Ing. Pavel Neumann**

Bc. Jan Bittner

Praha 2018



Zadání



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: BITTNER Jméno: JAN Osobní číslo: 399780
Zadávající katedra: ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
Studijní program: STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: PŘÍPRAVA, REALIZACE A PROVOZ STAVEB

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: MOŽNOSTI ODSTRANĚNÍ VLHKOSTI PODSKLEPENÝCH OBJEKTŮ
Název diplomové práce anglicky: VARIOUS OPTIONS FOR REMOVAL HUMIDITY FROM BASEMENT

Pokyny pro vypracování:

- přehled používaných metod k odstranění vlhkosti
- možnosti použití jednotlivých metod v závislosti na materiálu nosné konstrukce a stupně zavlhčení
- technologické postupy, časová náročnost, náklady, životnost
- multikriteriální vyhodnocení variant
- konkrétní řešení pro daný objekt, případně ve variantách

Seznam doporučené literatury:

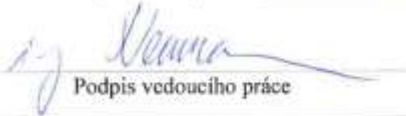
BALÍK, Michael a kol. Odvlhčování staveb. ISBN 978-80-247-3045-5
LEBEDA, Jaroslava kol. Sanace zavlhlého zdiva a budov, SNTL, Praha, 1988

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Pavel Neumann

Datum zadání diplomové práce: 10.1.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

10.1.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací na téma „Možnosti odstranění vlhkosti podsklepených objektů“ vypracoval samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucího diplomové práce a uvedl jsem veškerý seznam použité literatury a informačních zdrojů. Vše v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských státních závěrečných prací. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti užití této diplomové práce, či její části.

V Praze dne

.....

Bc. Jan Bittner



Poděkování

Děkuji panu Ing. Pavlovi Neumannovi, vedoucímu mé diplomové práce za rady, připomínky a pomoc při vypracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat pražské pobočce ATELIER DEK za zapůjčení příložného odporového vlhkoměru pro mojí praktickou část. Neméně důležité je poděkování mé rodině a kamarádům, kteří mi dopomohli k dokončení této diplomové práce.



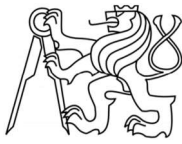
Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vlhkosti ve zdivu převážně podsklepených objektů. V první části je zde (na úrovni obecné roviny) popsána teorie k výpočtům vlhkosti zdiva a vysvětlení pojmů úzce souvisejících s vlhkostí a sanací vlhkého zdiva. V dalších kapitolách se tato práce zabývá rozebráním všech možností vnikání vlhkosti do zdiva objektu i do objektu celkově a jsou zde popsány nejčastější příčiny poruch zdiva vlivem vlhkosti, jež umožňují dotaci vody do zdiva. Jelikož každý úspěšný návrh sanačních metod vyžaduje detailní průzkum objektu k pochopení všech souvisejících aspektů, je v této práci věnována celá kapitola průzkumu objektů před návrhem sanačních metod se zaměřením na jednotlivé metody měření vlhkosti zdiva a získání všech potřebných informací k navržení ideální sanační metody. V poslední kapitole teoretické části této diplomové práce jsou popsány způsoby snížení vlhkosti konstrukcí. Popis jednotlivých metod mapuje kompletní možnosti sanace vlhkého zdiva na českém trhu s uvedením výhod a nevýhod jednotlivých metod.

Praktická část této diplomové práce se zabývá multikriteriálním výběrem metod sanace vlhkého zdiva podsklepených objektů s vysvětlením výhod a nevýhod té či oné metody a následně byly vypracovány základní rozhodovací tabulky, které slouží k předběžnému výběru sanační metody. Poslední kapitola této diplomové práce se zabývá konkrétním řešením sanačních metod na vybraném objektu.

Klíčová slova

Difuze, sorpce, porozita, vlhkost zdiva, sanace zdiva, vzduchové izolační systémy, chemické hydroizolační clony, mechanické metody dodatečných izolací, jílové izolace, elektroosmotické metody, sanační omítky



Abstract

This diploma thesis deals with the issue of moisture in masonry predominantly basement buildings. The first part describes the theory of masonry moisture calculations (at the general plane level) and explanations of terms closely related to humidity and remediation of damp masonry. In the following chapters this diploma thesis deals with the descriptions of all possibilities of entering moisture into the masonry of the objects and to the object at all, and in the following are described the most frequent causes of masonry failures, which allow the water to be penetrated to the masonry. Since each successful design of remediation methods requires a detailed survey of the object to understand all related aspects, in this work is devoted the entire chapter of object research before designing remediation methods focusing on individual methods of moisture measurement of masonry and obtaining further information to suggest an ideal remediation method. In the last chapter of the theoretical part of this diploma thesis there are described ways to reduce the moisture of structures. The description of the individual methods maps the complete possibilities of wet masonry rehabilitation in the Czech market, showing the advantages and disadvantages of individual methods.

The practical part of this diploma thesis deals with the multi-criterial selection of remediation methods of wet masonry of basement buildings with an explanation of the advantages and disadvantages of one or another method and subsequently were created the basic decision tables for the preliminary selection of the remediation method. The last chapter of this diploma thesis deals with the specific solution of remediation methods on selected object.

Key words

Diffusion, sorption, porosity, masonry humidity, masonry rehabilitation, air isolation systems, chemical waterproofing clouds, clay insulation, electroosmotic methods, repair plasters



Seznam použitých zkratk a symbolů

ČSN	Česká technická norma
WTA	Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege (Vědeckotechnické společnosti pro sanace staveb a péči o památkové objekty)
XPS	Extrudovaný polystyren
EPS	Expandovaný polystyren
SBS	Styren-butadien-styren
APP	Amorfní polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
mPVC	Měkčené PVC
PES	Polyethylensulfan
PU	Polyuretan
PE	Polyethylen
PTFE	Polytetrafluoretylen
TPO	Tetrapolyolefin
LDPE	Low Density Polyethylene
HDPE	High density polyethylene
φ	Relativní vlhkost vzduchu [–]
θ_{dp}	Teplota rosného bodu [°C].
δ	Součinitel difúze vodní páry [s]
R_d	Difúzní odpor [m/s]
μ	Faktor difúzního odporu [–]
S_d	Ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]
u_n	Hmotnostní vlhkost konstrukce [%]
ϵ_r	Relativní permitivita [–]
δ	Povrchové napětí kapaliny [N/m]
Θ	Úhel smáčení mezi kapalinou a stěnou kapiláry [°]



OBSAH

1	ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
2	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	13
2.1	Sjednocení teoretických znalostí k sanaci vlhkého zdiva	13
2.2	Snížení vlhkosti v konstrukcích	13
2.3	Návrh konkrétních sanačních opatření pro vybraný objekt	13
3	ZÁKLADNÍ TEORIE K SANACI VLHKÉHO ZDIVA.....	14
3.1	Povrchová kondenzace vodních par.....	14
3.2	Kapilární kondenzace.....	16
3.3	Difúze.....	16
3.3.1	Součinitel difúze vodní páry δ (s) [6].....	17
3.3.2	Difúzní odpor R_d (m/s) [6]	18
3.3.3	Faktor difúzního odporu μ (-) [6]	18
3.3.4	Ekvivalentní difúzní tloušťka s_d (m) [6].....	18
3.4	Sorpce	18
3.5	Vysychání	19
3.6	Kapilární vedení vlhkosti	20
3.7	Porozita.....	22
3.7.1	Charakter a velikost pórů	22
4	PŘÍČINY VLHNUTÍ ZDIVA STAVEBNÍCH OBJEKTŮ	24
4.1	Voda srážková (dešťová)	25
4.2	Voda vzlínající (kapilární).....	25
4.3	Voda kondenzovaná (vodní pára)	26
4.4	Voda působící hydrostatickým tlakem	27
4.5	Hygroskopicitu stavebního materiálu.....	27
4.6	Další zdroje vlhkosti zdiva	27
4.6.1	Sanitní instalace.....	27
4.6.2	Okapové žlaby a dešťosvody	27
4.6.3	Trhliny a mikrotrhliny ve zdivu	27
5	NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY PORUCH ZDIVA	29
5.1	Absence hydroizolací spodní stavby, izolace dožilé	29



5.2	Vadné návrhy izolace staveb, jejich nekvalitní provedení, vady vzniklé změnou podmínek stavby.....	29
5.3	Nedostatečná mrazuvzdornost.....	30
5.4	Příčiny poruch zdiva v příkladech.....	31
6	PRŮZKUM OBJEKTU	34
6.1	Místní šetření na stavbě.....	34
6.2	Zjišťování hmotnostního obsahu vody v konstrukcích – vlhkostí průzkum.....	35
6.3	Metody měření vlhkosti	36
6.3.1	Gravimetrická metoda.....	37
6.3.2	Elektrické metody měření vlhkosti.....	38
6.3.3	Kapacitní metoda měření vlhkosti.....	39
6.3.4	Odporová metoda měření.....	39
6.3.5	Mikrovlňná metoda.....	40
6.3.6	Chemické metody.....	40
6.4	Další průzkumy potřebné k návrhu sanace.....	40
6.4.1	Informace o podzáklaď a vlastnostech okolního terénu.....	40
6.4.2	Průzkum salinity.....	40
6.4.3	Průzkumy archivní.....	41
7	ZPŮSOBY SNÍŽENÍ VLHKOSTI KONSTRUKCÍ	43
7.1	Vzduchové izolační systémy	43
7.1.1	Vzduchové dutiny stěnové.....	44
7.1.2	Konstrukční zásady pro návrh stěnových vzduchových dutin.....	49
7.1.3	Podlahové vzduchové dutiny.....	50
7.1.4	Ostatní vzduchové systémy.....	54
7.1.5	Volba obrazu proudění vzduchu v místnosti (Air management).....	59
7.2	Dodatečné bariéry ve zdivu.....	59
7.2.1	Chemické hydroizolační clony.....	59
7.2.2	Mechanické metody aplikace dodatečných izolací.....	65
7.3	Jílové izolace	68
7.3.1	Plošné bentonitové hydroizolace – rohože.....	69
7.4	Metody elektroosmotické.....	70
7.4.1	Princip řešení odvlhčování zdiva aktivní elektroosmózou.....	71
7.4.2	Příklady praktického návrhu elektroosmotického systému.....	72



7.5	Povlakové hydroizolace.....	75
7.5.1	Povlaková hydroizolace z asfaltových pásů.....	75
7.5.2	Povlaková hydroizolace z hydroizolačních fólií.....	77
7.6	Konzervační a hydrofobizační úpravy.....	80
7.6.1	Nátěry omítek a zdiva	80
7.6.2	Zpevňující prostředky.....	81
7.6.3	Hydrofobizační prostředky [22].....	81
7.7	Omítky	82
7.7.1	Základní dělení	82
7.7.2	Podkladní omítka	83
7.7.3	Kompresní (obětovaná) omítka	83
7.7.4	Odvlhčovací omítka.....	83
7.7.5	Sanační štuk	83
7.7.6	Návrh sanačních omítek a jejich životnost.....	83
7.7.7	Povrchové úpravy sanačních omítek.....	84
8	MOŽNOSTI POUŽITÍ JEDNOTLIVÝCH SANAČNÍCH METOD V ZÁVISLOSTI NA MATERIÁLU NOSNÉ KONSTRUKCE A STUPNĚ ZAVLHČENÍ	85
8.1	Výběr nejvhodnější metody	86
8.1.1	Vzduchové metody.....	87
8.1.2	Chemické izolační clony.....	88
8.1.3	Mechanické metody	89
8.1.4	Jílové izolace	90
8.1.5	Metody elektroosmotické.....	90
8.1.6	Sanační omítky	91
8.2	Předběžný výběr typu odvlhčení	92
8.2.1	Rozhodovací tabulky.....	93
8.3	Multikriteriální srovnání jednotlivých metod sanace	94
9	KONKRÉTNÍ ŘEŠENÍ SANAČNÍ METODY PRO DANÝ OBJEKT	96
9.1	Problematika, historie, průzkum	96
9.2	Průzkum objektu	96
9.3	Stručný popis objektu.....	96
9.4	Interiér objektu	98
9.4.1	1.NP.....	98



9.4.2	1.PP (suterén).....	99
9.5	Exteriér objektu	102
9.5.1	Uliční část objektu	102
9.5.2	Západní část objektu.....	102
9.5.3	Dvorní část objektu	103
9.6	Hydrogeologické poměry v dané lokalitě	103
9.7	Posudek.....	105
9.8	Koncepční návrh nápravných opatření	106
9.8.1	Všeobecně.....	106
9.8.2	Opatření prováděná z interiéru.....	106
9.8.3	Opatření prováděná z exteriéru.....	110
9.9	Specifikace možných rizik	117
10	ZÁVĚR	118
10.1	Zhodnocení vytyčených cílů	118
10.1.1	Sjednocení teoretických znalostí k sanaci vlhkého zdiva.....	118
10.1.2	Snížení vlhkosti v konstrukcích	118
10.1.3	Návrh konkrétních sanačních opatření pro vybraný objekt	118
10.2	Osobní přínos diplomové práce.....	119
11	Použité zdroje.....	120
12	Seznam obrázků.....	123
13	Seznam tabulek.....	126
14	Seznam příloh	127
15	Přílohy	128



1 ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Prostorová vlhkost a vlhkost zdiva budov jsou základními problémy, které spolu se statikou ovlivňují rozhodování majitelů (investorů) o způsobech a rozsahu rekonstrukce. Zvýšená vlhkost zdiva se ovšem netýká pouze starších objektů, ale i novostaveb, které často není možné zkolaudovat z důvodu zvýšené vlhkosti zdiva.

Zvýšená vlhkost zdiva spodní části stavby (často se zvýšenou salinitou a výskytem mikroorganismů) způsobuje celou řadu závad, které se projevují postupným opadáváním omítek, lokální destrukcí zdiva a výrazným zhoršováním mikroklimatu, zejména v suterénních a přízemních prostorách. Některé části objektů se tak stávají z hygienického hlediska nevyužitelnými.

Návrhy způsobů dodatečného snižování vlhkosti se časem poněkud oddělily od běžného projektového stavitelství a staly se, nebo alespoň v některých komplikovaných případech, samostatnou projektově-stavební specializací. Kvalitu návrhů by měly také zajistit platné normy, které jsou závazné.

Řešit snížení vlhkosti konstrukcí bez respektování příčin poruch je předem navrženou vadou. Takto navržené metody, často zvolené libovolně, jsou neúplné, a přestože mohou dočasně splnit zadání (tj. zajistit suché povrchy) vyvolávají další vážné poruchy konstrukcí. Při výběru odvlhčovacího opatření je třeba brát v úvahu jeho nadřazenost oproti úpravám vedlejším. Rovněž je třeba rozhodnout, které problémy staveb jsou celkové a které pouze lokální. Jejich záměna je podstatným omylem, který vede ke ztrátě odborné orientace v poruchách způsobených vlhkostí. Poznání a braní v potaz všech vztahů mezi konstrukcemi a příčinami poruch je při sanačním návrhu základním krokem. V praxi se bohužel můžeme často setkat s velikou vědomostní propastí mezi běžnými stavebníky a odbornými organizacemi.

Základní podmínkou pro volbu nejvhodnějšího návrhu zůstává informace o potřebách majitele (investora), tedy to, zda počítá pouze s povrchovou (estetickou) úpravou zdí (podlah, stropů nebo kleneb), nebo zda kalkuluje s radikálním zásahem, který zabrání příčinám poruch. Téměř vždy se jedná o kombinace opatření, které je možno provádět postupně. Jedna metoda bývá vždy hlavní. Její volba je ovlivněna znalostmi o účinnosti daného opatření a zejména zkušenostmi s jejich účinností v různých stavebních, geologických nebo hydrogeologických oborech. Velmi důležité a často základní jsou informace o minulých úpravách budov a o důvodech pro jejich provedení.



2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

K získání vhodného návrhu odstranění vlhkosti zdiva podsklepených objektů je zapotřebí znát problematiku odvlhčování staveb do hloubky. Největším problémem při řešení nevhodnějších sanačních metod na daných objektech je především laxnost projektantů zajistit si dostatek potřebných informací, nebo nedostatečná odborná znalost dané problematiky. Zároveň je na českém trhu (a zejména na internetu) snadné nalézt spoustu informací, ale ne vždy je snadné se v nich vyznat a vyhodnotit je podle správného hlediska. Hlavní cíle této diplomové práce bych definoval takto:

2.1 Sjednocení teoretických znalostí k sanaci vlhkého zdiva

K pochopení stavební fyziky vlhkého zdiva je třeba znát mnoho pojmů a přírodních zákonů. Je třeba pochopit jakými způsoby se vlhkost transportuje napříč konstrukcemi a které podmínky je třeba dodržet, chceme-li mít zdivo v odpovídajícím vlhkovém stavu. Jedná se zejména o nutnost přítomnosti vnější ochranné izolace zdiva vůči působení podzemních vod formou hydrostatického tlaku, nebo například pochopení přírodních zákonů týkajících se kondenzace a difuze vodní páry.

V neposlední řadě je třeba také znát důsledky působení rozdílných klimatických podmínek na exteriérové straně zdiva. Je důležité vědět, jak se bude chovat zdivo za teplých letních měsíců a jak za studených zimních měsíců.

2.2 Snížení vlhkosti v konstrukcích

Možností snížení vlhkosti v konstrukcích je mnoho. Na českém stavebním trhu se nachází mnoho variant odstranění vlhkosti ze zdiva, avšak ne všechny jsou vždy dostatečně účinné, nebo vhodné pro daný objekt. Za cíl této diplomové práce jsem si vytyčil zejména zpřehlednění všech možností odstranění vlhkosti ze zdiva s vysvětlením kladů a záporů té či oné metody. Za cíl si též kladu detailnější pochopení a popsání uvedených metod a získání většího přehledu v dané problematice.

2.3 Návrh konkrétních sanačních opatření pro vybraný objekt

Veškeré získané znalosti z teoretické části hodlám využít v mé praktické části. Budu se zabývat odstraněním vlhkosti ze zdiva podsklepeného objektu. Návrhu sanačních metod bude předcházet průzkum objektu se zaměřením na vlhkovní poměry v objektu a na příčiny vnikání vody do zdiva. Po provedení průzkumu si kladu za cíl navrhnout nejideálnější kombinaci řešení sanačních metod, případně ve variantách.



3 ZÁKLADNÍ TEORIE K SANACI VLHKÉHO ZDIVA

3.1 Povrchová kondenzace vodních par

Vzduch ve vnitřních prostorech i venkovní atmosféře považujeme z hlediska tepelné techniky za směs suchého vzduchu a vodní páry, přičemž obě složky vyvozují částečné (parciální tlaky). Vodní páru pak můžeme popsat dvěma způsoby:

- 1) Hustota (koncentrace) vodní páry – \underline{v} [kg/m³]
- 2) Částečný tlak vodní páry – \underline{p} [Pa]

Pro každou teplotu existuje maximální množství vodní páry, kterou může vzduch obsahovat. Každý vzduch je tedy do určité míry nasycený (saturovaný) vodní parou. V závislosti na zvolené formě popisu tak existuje:

- 1) Hustota (koncentrace) nasycené vodní páry – \underline{v}_{sat} [kg/m³]
- 2) Částečný tlak nasycené vodní páry – \underline{p}_{sat} [Pa]

Přivádí-li se do plně nasyceného vzduchu ($p=p_{sat}$) další vodní pára, dochází ke kondenzaci, tzn. k vysrážení vodní páry ve vodu. Poměr částečného tlaku vodní páry \underline{p} a částečného tlaku nasycené vodní páry \underline{p}_{sat} se označuje jako relativní vlhkost vzduchu φ [-]. Relativní vlhkost vzduchu (míra, do jaké je vzduch nasycen vodní parou) je definována vztahem [1]:

$$\varphi = \frac{v}{v_{sat}} = \frac{p}{p_{sat}} \quad (1)$$

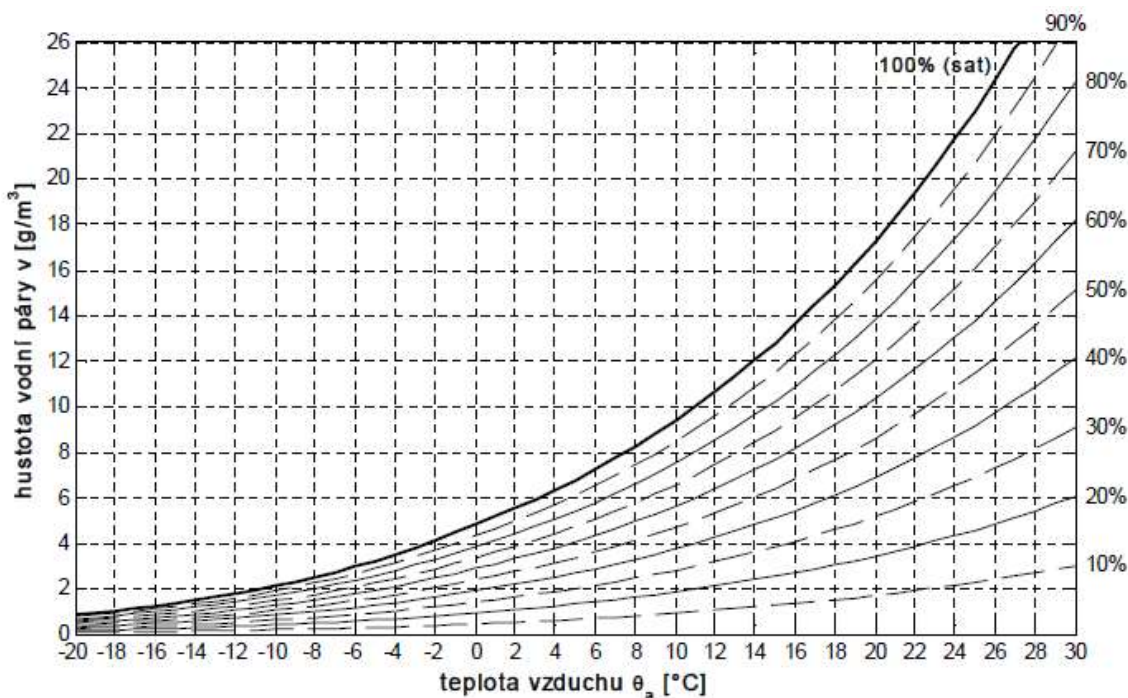
Procento nasycení vzduchu vodní parou je funkcí teploty. Zcela suchý vzduch neobsahuje žádnou vodní páru ($\varphi = 0\%$). Naopak vzduch, který je vodní parou zcela nasycen, má $\varphi = 100\%$. Jakýkoli další pokles teploty nebo další zvětšení tlaku znamená, že veškerá nadbytečná vodní pára ihned zkondenzuje na povrchu nejbližších pevných hmot. Kondenzace se projevuje v různých formách, kterou známe z denní praxe jako například mlha, jinovatka (rosa), kapičky vody na dobře vychlazeném pivu apod. Ve všech těchto případech jde o takzvanou **povrchovou kondenzaci vodních par**. Pro teploty od +30 °C do -25 °C jsou částečné tlaky nasycené vodní páry uvedeny v ČSN 73 0540 [2].

Teplotu, při níž je vzduch vodní parou zcela nasycen, označujeme jako **teplotu rosného bodu** θ_{dp} [°C]. Teplotu rosného bodu vypočítáme z empirických vzorců pro vypočtení částečného tlaku nasycené vodní páry, které jsou funkcí teploty vzduchu. Pro zjednodušení můžeme teplotu rosného bodu přibližně vypočítat ze závislosti na teplotě a relativní vlhkosti ze vzorce:

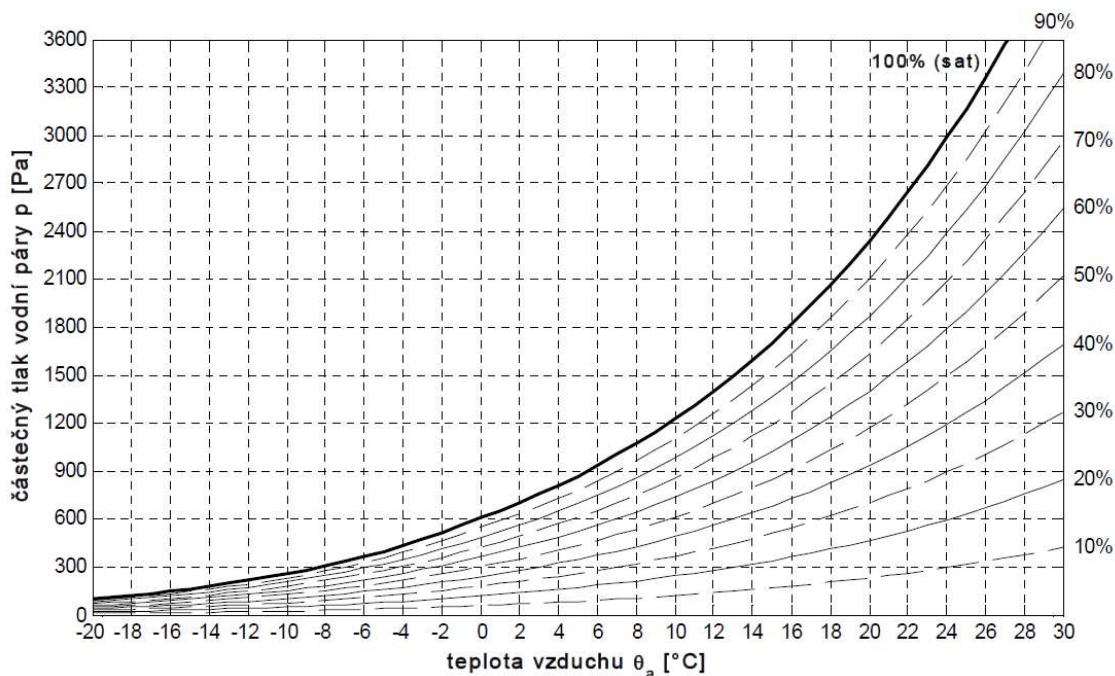
$$\theta_{dp} = 4030 \cdot \frac{\theta_a + 235}{4030 - (\theta_a + 235) \ln \varphi} - 235 \quad (2)$$



Vzduch ve vnitřních prostorech i venkovní atmosféře považujeme z hlediska tepelné techniky za směs suchého vzduchu a vodní páry, přičemž obě složky vyvozují částečné (parciální tlaky).



Obr. 1 Hustota vodní páry ve vzduchu v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti [1]



Obr. 2 Částečný tlak vodní páry ve vzduchu v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti [1]



3.2 Kapilární kondenzace

Vodní pára kondenzuje při překročení rosného bodu. Diagramy, které tuto zákonitost určují, platí pro plochy rovné a u stavebních materiálů pro povrchy větších dutin a pórů. V pórech s poloměrem menším než 10^{-4} mm dochází ke kondenzaci vodních par mnohem dříve. Jinak řečeno, jestliže se ten samý vzduch o té samé teplotě dostane do kontaktu s různě velkými póry, dojde mnohem dříve ke kondenzaci u materiálů s jemnými póry než u materiálů s většími póry. To vysvětluje, proč můžeme v praxi pozorovat za stejných klimatických podmínek rozdílnou vnitřní vlhkost materiálů, u kterých je různý poloměr jejich pórů.

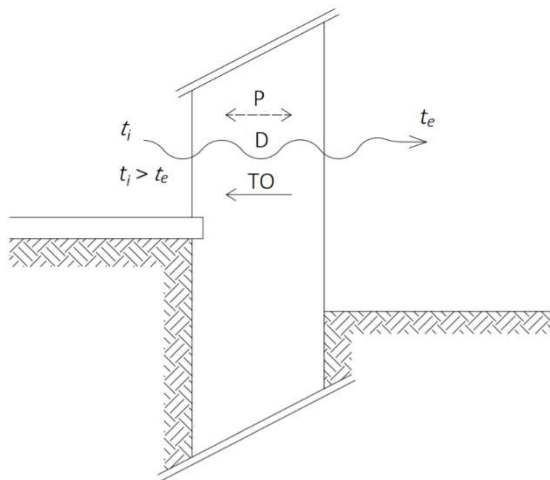
Pronikání vodní páry se vzduchem do hmoty (difúze) může nastat jen tehdy, přesahuje-li velikost pórů rozměr $0,5 \times 10^{-6}$ mm, neboť poloměr molekuly vody je 10^{-7} mm. V pórech s menším poloměrem neprobíhá difúze vodní páry. [3]

Kapilární kondenzace je příčinou, proč jsou jemnozrnné horniny jako opuky a cementové malty za stejné teploty vlhčí. Místa vyspravená cementovou maltou nebo cementové omítky ve vlhkých sklepních prostorách jsou následkem toho vždy oroseny, zatímco jiné druhy stavebních materiálů s většími póry zůstávají suché. [3]

3.3 Difúze

Difúze je pronikání vodní páry z místa s vyšším napětím (tenzí) vodních par (větší koncentrace, teplejší místo) na místo s nižším napětím (tenzí) vodních par (menší koncentrace, studenější místo). Vyrovnáváním těchto rozdílů vzniká tok vlhkosti a tepla obalovými konstrukcemi. Směr difuzního toku je dán snahou po vyrovnání existujících tlakových rozdílů z místa s vyšším parciálním tlakem vodní páry do místa s nižším parciálním tlakem vodní páry. [3]

Při difuzi se uplatňují dva hnací mechanismy – gradient tlaku a gradient teploty. Gradient teploty (bývá nazýván termoosmóza) přivádí vodu k místům s vyšší teplotou, tj. působí v opačném směru než difuze. Obě síly se sčítají a výsledný pohyb vlhkosti směřuje buď k vnějšímu nebo vnitřnímu líci obalové konstrukce.



Obr. 3 Pohyb vlhkosti a vody v příčném směru zdiva. D – difúze vodní páry; TO – termoosmóza; P – výsledný pohyb vlhkosti



Převážnou část roku je směr difuzního toku směrem z vnitřních prostorů ven z budovy. V zimním období je výrazně nižší parciální tlak vodních par venku, zatímco v objektech je parciální tlak vodních par vyšší v důsledku vývinu vodní páry lidskou činností. K difuzi dochází jen v kapilárách a pórech vyplněných vzduchem a v těch, které nejsou zcela naplněny vodou. Termoosmóza naopak působí převážně v kapilárách nejužších. Přitom kapiláry a póry zdiva musí být zcela vyplněny vodou. [4]

V praxi nás hlavně zajímá schopnost materiálu propouštět vodní páru, která je obvykle udávána součinitelem difuze vodní páry δ nebo faktorem difuzního odporu μ . Tyto veličiny se používají ke stanovení difuzního odporu jednotlivých vrstev konstrukce i konstrukce jako celku.

Obecně platí, že má být skladba vrstvené obalové konstrukce koncipována tak, aby difuzní odpor jejích jednotlivých vrstev od interiéru směrem k exteriéru klesal. I při dosažení ideální skladby konstrukce dochází ve většině konstrukcí za standardních podmínek ke kondenzaci vodní páry. Pro použití stavební konstrukce, v které dochází ke kondenzaci vodní páry, musí být současně splněny 3 základní podmínky dané ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov*:

- dosažení aktivní roční bilance kondenzace a vypařování;
- dodržení kondenzačních limitů;
- neohrožení funkčních vlastností hodnocené konstrukce v důsledku kondenzace vodní páry (platí převážně u dřevěných konstrukcí, kde je zvýšené riziko plísní a následná degradace konstrukce).

Propustnost materiálu pro vodní páru se vyjadřuje podle normy ČSN EN ISO 7783 [5] pomocí čtyř základních veličin:

3.3.1 Součinitel difúze vodní páry δ (s) [6]

Součinitel difúze vodní páry se v praxi používá k obecnému vyjádření difúzní propustnosti stavebních materiálů pro vodní páru. Udává množství vodní páry m [kg], která za čas t [s] „prodifunduje“ v důsledku rozdílu částečných tlaků vodní páry Δp [Pa] obvodovou stěnou o ploše A [m²] a tloušťce d [m]:

$$\delta = \frac{\Delta m * d}{S * \tau * \Delta p_p} \quad (3)$$

kde: Δm – množství „prodifundované“ páry vzorkem za čas τ [kg],

d – tloušťka vzorku [m]

S – měrná plocha vzorku [m²]

τ – časové období korespondující s transportem vodní páry Δm [s]

Δp_p – rozdíl parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu nad a pod měrným povrchem vzorku [Pa]



3.3.2 Difúzní odpor R_d (m/s) [6]

Vyjadřuje míru, s jakou konstrukce brání difúznímu prostupu vodní páry. Vypočítá se jako podíl tloušťky materiálu a jeho součinitele difúze vodní páry δ :

$$R_d = \sum \frac{d_j}{\delta_j} \quad (4)$$

kde: d_j – tloušťka vrstvy [m]

δ – součinitel difúze vodní páry [s]

3.3.3 Faktor difúzního odporu μ (–) [6]

Tato bezrozměrná veličina vyjadřuje, kolikrát lépe propouští vodní páru nehybná vrstva vzduchu než stejná tloušťka daného materiálu.

$$\mu = \frac{D_a}{D} \quad (5)$$

kde: D – součinitel difúze vodní páry v daném materiálu

$D_a = 2,3 \cdot 10^{-5}$ [m²s⁻¹] součinitel difúze vodní páry ve vzduchu

3.3.4 Ekvivalentní difúzní tloušťka s_d (m) [6]

Vyjadřuje, kolik metrů vzduchové vrstvy by svými difúzními vlastnostmi nahradilo danou vrstvu.

$$s_d = \mu * d \quad (6)$$

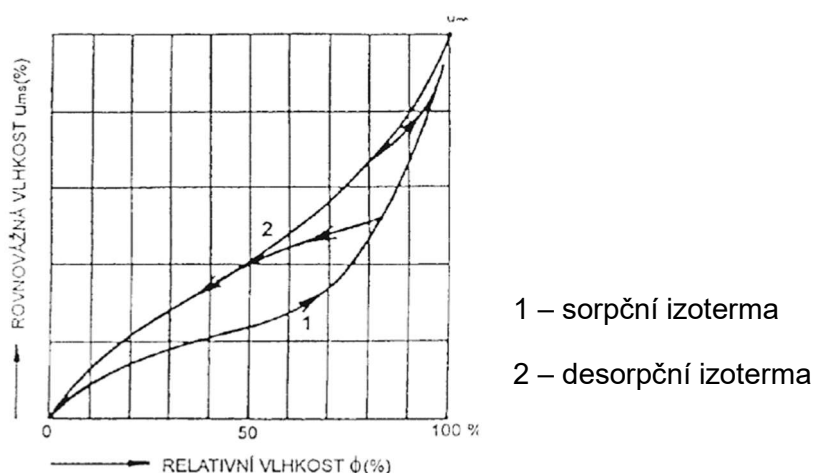
kde: μ – faktor difúzního odporu [–]

d – tloušťka materiálu [m]

3.4 Sorpce

Materiály ve stavební konstrukci pohlcují vodní páry z ovzduší až k dosažení rovnovážného stavu. Je-li parciální tlak vodní páry ve zdivu větší, uvolňují se vodní páry z materiálu až do vyrovnání s parciálním tlakem vodní páry v ovzduší. Jedná se o sorpci a desorpci vodní páry.

Při tomto procesu se vodní molekuly na povrchu pevné fáze silně zhušťují až vytvoří kompaktní vodní film. Množství takto vázané vody činí 1–2 % hmotnosti celé pórovité hmoty. Takzvané sorpční izotermy ukazují jednotlivé hodnoty rovnovážné vlhkosti materiálu za určité teploty v závislosti na relativní vlhkosti vnějšího prostředí [3].



Obr. 4 Izotermy rovnovážné vlhkosti [4]

3.5 Vysychání

Vedle difúze, která má rozhodující význam, se při transportu vlhkosti k povrchu uplatňuje rovněž kapilární vedení. V počáteční fázi vysychání stavby jde o volné vypařování do okolního prostředí, po určité době se vypařovací zóna posune do nitra konstrukce, volné vypařování již nemůže pokračovat a vodní pára se nejprve musí dostat difúzí k povrchu materiálu a teprve odtud se odpaří do vnějšího prostředí.

Proces vysychání stavebních materiálů závisí na teplotě a parciálním tlaku vodních par, rychlosti proudění vzduchu, jeho teplotě a vlhkosti. **Optimální podmínky pro vysychání vznikají v prostředí se suchým proudícím vzduchem s vyšší teplotou, než má vlhká konstrukce.** Optimálního vysychání je dosaženo větráním v zimním období, kdy je obecně nízká absolutní vlhkost vzduchu, a za předpokladu, že je spojené s temperováním nebo topením. Studený vzduch se v místnosti rychle ohřívá, čímž klesá jeho relativní vlhkost a vytváří se tak kapacita pro odpařování vlhkosti ze zdiva (viz Obr. 2). V létě je větrání méně účinné a v některých případech dokonce kontraproduktivní (v letním období s vysokou relativní vlhkostí vzduchu může dojít ke kondenzaci par na studeném materiálu stavební konstrukce). Vysychání je výrazně ovlivněno hustotou, distribucí průměrů a charakterem (tvarem) pórů [4].

Podle Cardierguese je doba pro vysušení neomítnutého zdiva dána vztahem:

$$t = S * d^2 \quad [dny] \quad (7)$$

kde: d – tloušťka zdiva [cm]

S – faktor v závislosti na druhu stavebního materiálu: pro cihlu se udává hodnota 0,28 pro vápenec 1,2

Podle tohoto vzorce například vysušení cihelného zdiva o tloušťce 45 cm trvá 567 dní (cca jeden a půl roku), což odpovídá hodnotám dosahovaným ve stavební praxi. Podle



různých údajů se z 1 m² zdíva odpaří za den 0,7 až 1,2 l vody v závislosti na koncentraci a druhu solí na jejím povrchu.

3.6 Kapilární vedení vlhkosti

Při kontaktu pórovitého materiálu s vodou dochází k intenzivnímu nasávání vody nezávisle na sklonu pórů. Je důležité si uvědomit, že materiály s většími póry nasávají sice rychle, ale výška vztlínání je nízká. Naopak jemně pórovité, hutné materiály sají vodu pomalu, avšak velmi vysoko. Při správném vyřešení konstrukčních detailů se lze kapilárnímu vedení vlhkosti vyhnout, neboť u běžných stavebních konstrukcí jsou taková nasycení vodou nepřipustná. Výjimku tvoří nově vzniklé konstrukce, kdy je technologická voda transportována k povrchu konstrukce jak difuzí, tak kapilárním vedením a vypařováním. [4]

Vzlínání vlhkosti je nejčastějším způsobem vlhnutí konstrukcí vystavených působení zemní vlhkosti. Vzlínání vody lze ve zjednodušené formě vysvětlit prostřednictvím mechanismu kapilární elevace (kapilárního zdvihu). Školní pomůckou pro demonstraci vzlínivosti je úzká skleněná trubička, ponořená do vody (Obr. 5). Horní hladina vody stoupá tak dlouho, až se váha vodního sloupce vyrovná kapilární elevaci (kapilárnímu zdvihu).

Pro maximální výšku vztlínutí vlhkosti v kapilárách platí:

$$h = \frac{2 * \delta * \cos \theta}{r * \rho * g} \quad (8)$$

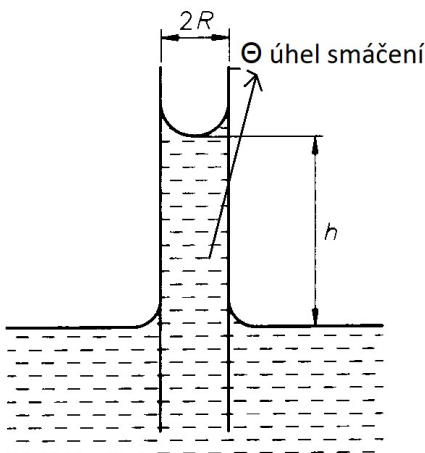
kde: δ – povrchové napětí kapaliny [N/m]

Θ – úhel smáčení mezi kapalinou a stěnou kapiláry [°]

r – poloměr kapiláry [m]

ρ – měrná hmotnost kapaliny [kg/m³]

g – tíhové zrychlení [m/s²]



Obr. 5 Kapilární vztlínavost



Skutečná výška vzlinutí bývá vždy menší než výška stanovená výpočtem, neboť současně probíhá i odpařování vlhkosti z materiálu.

Pro smáčivé kapaliny je $\cos\theta = 1$. U vody můžeme počítat s povrchovým napětím přibližně 0,0765 [g/cm]. Střední průměr kapilár ve zdivu se pohybuje kolem 10^{-5} m, tomu odpovídá výška vzlínání cca 1,49 m. Uvedenou hodnotu praxe potvrzuje, neboť velká část starších objektů je zvlhčena do výšky okolo 1,5 m nad terénem.

Vzlínání je dynamický jev, u něhož nerozhoduje pouze výška ale i rychlost, s jakou se voda pohybuje do odpařovací zóny a čas potřebný k dosažení kapilární výšky h . Rychlost vzlínání se určí ze vztahu:

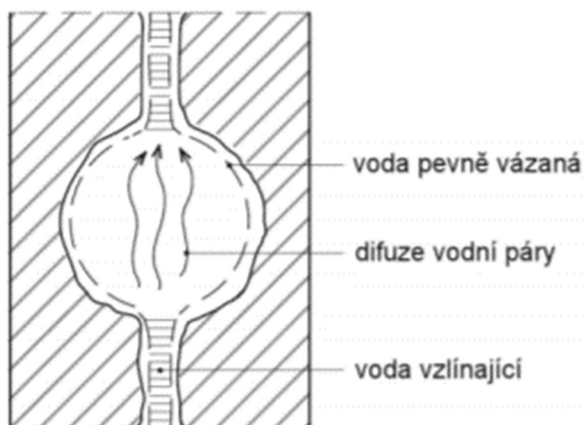
$$v = \frac{r * \delta * \cos\theta}{4 * \eta * h} \quad (9)$$

Kde η je viskozita kapaliny.

Čas, který potřebuje voda k dosažení výšky h , se vypočítá ze vztahu:

$$t = \frac{2 * \eta * h^2}{r * \delta * \cos\theta} \quad (10)$$

Transport vlhkosti vzlínáním se projevuje u stavebních materiálů s poloměrem pórů od 10^{-7} do 10^{-4} m. Se zmenšujícím se poloměrem pórů roste výška vzlínání, s rostoucím poloměrem se zvětšuje množství vlhkosti pronikající do zdiva. Voda stoupá kapilárou, ale neprojde přes pór většího průměru, neboť kapilární zdvih je menší než výška kapiláry. Transport vlhkosti se však nezastaví. Voda se na konci kapiláry odpaří a difunduje k protější stěně, kde pára opět zkondenzuje a v tekutém stavu vzlíná kapilárami k dalšímu póru. [4]



Obr. 6 Detail prostupu vlhkosti kapilárami a dutinami zdiva [4]

Uvedené vztahy platí pro vodu, ve které nejsou rozpuštěné soli. Voda vzlínající z podzákladí je nasycena množstvím rozpuštěných minerálů a solí. Tyto látky vnášené do zdiva vzlínáním postupně krystalizují a sedimentují na stěnách pórů. Vytvořené krystaly minerálů a solí způsobují rýhování stěn pórů. Zmenšují tak průměry pórů a dochází ke změně pórové distribuce. Z tohoto důvodu bývá u starších budov výška vzlinutí vyšší než u budov novějších ze stejných materiálů.



3.7 Porozita

Porozita je obsah vzduchových dutin (pórů) ve stavební hmotě. Udává se jako podíl objemu vzduchových pórů v materiálu v procentech objemu. Lze jej měřit vyplněním volného objemu kapalinou, čehož využívá porozimetrie. Některé stavební materiály (perlit, pemza, plynosilikáty...) charakterizuje vysoká hodnota porozity, jiné hutné horniny (čedič, rula, sklo...) velmi nízká hodnota objemu pórů. Zdivo je velmi porézní látka. **Z technického hlediska je důležité řešit pórovou strukturu jako základní úvahu při rozhodování o sanačních opatřeních v zavlhém zdivu.** Pamatovat při sanaci zdiva na porozitu znamená trvale si uvědomovat, že nejde pouze o zjištění celkové porozity zdiva, z níž vyplyne, kolik vody se do zdiva může dostat, ale zároveň o distribuci pórů. To znamená zjistit rozdělení pórů podle velikosti poloměrů jednotlivých pórů. [4]

3.7.1 Charakter a velikost pórů

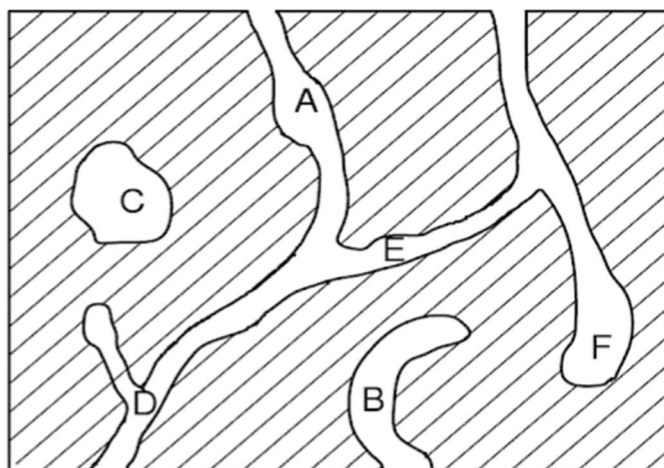
Kromě celkového objemu pórů je důležitý tvar a velikost pórů. Z hlediska tvaru je zásadní, zdali se jedná o otevřené póry, do kterých se může dostávat voda, nebo o póry uzavřené, které jsou pro vodu prakticky nepřístupné. Uzavřené póry mají cíleně některé tepelně izolační materiály (pěnové sklo, pěnový polystyren, PU pěny, expandovaný perlit apod.). Jsou nesmáčivé a vykazují tedy vysoký tepelný odpor i při využití ve vlhkém prostředí. Ostatní hmoty mají póry *otevřené* a může do nich teoreticky vnikat voda. Ta do nich skutečně proniká a významně tím daný materiál ovlivňuje [4].

Tab. 1 Dělení pórů podle velikosti [4]

Název	Velikost pórů	Jev
Mikropóry	$< 10^{-7}$ m	Nenasákavost, vodotěsnost
Kapilárně aktivní póry	10^{-7} m – 10^{-4} m	Nasákavost, kapilární vztlínání
Makropóry	$> 10^{-4}$ m	Nenasákavost, zatékání

Mikropóry nemají pro vysušování velký význam, neboť v důsledku gravitačních sil se v nich molekuly vody nemohou volně pohybovat. Pro sanaci mají význam pouze otevřené póry schopné komunikace.

Porézní strukturu materiálů a jí odpovídající tvary pórů charakterizují dva krajní modely porézní látky. První model vychází z představy tuhé látky jako kompaktní hmoty, ve které póry tvoří kanálky a dutiny. Druhý, **korpuskulární** model představuje tuhé látky vzniklé shlukem malých částic. Póry jsou v tomto případě tvořeny volnými meziprostory, které vzniknou dotykem těchto nepravidelných částic a tvar pórů je určen velikostí a uspořádáním těchto částic. Stavební materiály svojí strukturou lépe odpovídají **korpuskulárnímu modelu**.



Obr. 7 Geometrie pórů.

A – otevřené póry; B – slepé póry; C – uzavřené póry; D – rozvětvené póry; E – spojovací; F – lahvovité [4]

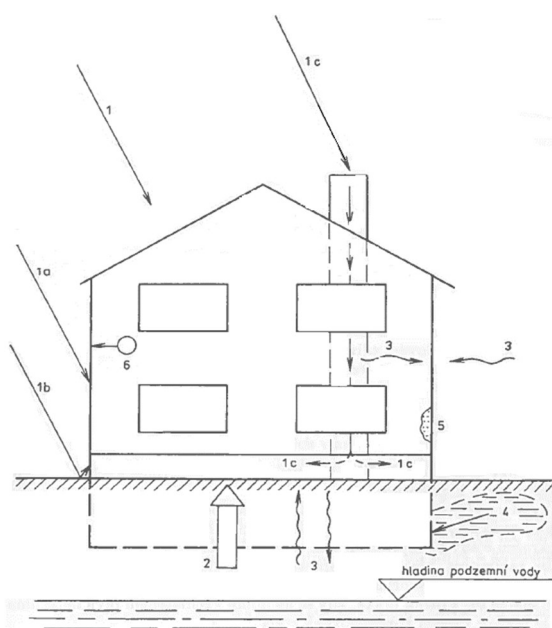


4 PŘÍČINY VLHNUTÍ ZDIVA STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

Voda se dostává do stavební konstrukce jako kapalina (tekuté skupenství) i jako vodní pára (plynné skupenství) a to mnoha různými způsoby a cestami. Určité množství vlhkosti je nedílnou součástí každé pórovité stavební látky a v některých stavebních konstrukcích, z hlediska vnitřního mikroklimatu v budovách, může být i pozitivním faktorem. Obtížnou se však vlhkost stává v situacích, kdy dochází k jejímu hromadění v určitých místech konstrukce, kde pak iniciuje degradační procesy a zhoršuje užité vlastnosti konstrukce a může být i příčinou snížené funkčnosti a spolehlivosti objektu.

U objektů, kde vytváříme vnitřní klima nezávislé na proměnách vnějšího prostředí, dochází k rozdílům vlhkostí vzduchu, resp. teplot v exteriéru a v interiéru. Směr pohybu vodní páry je dán snahou po vyrovnání těchto rozdílů. Vzniká tedy tok vodní páry (difuze) viz kap. 3.3) a tok tepla obalovými konstrukcemi. Protože těmto tokům nelze zabránit (bez toho, aniž by budova ztratila požadované parametry vnitřního mikroklimatu), je nutné vždy hledat cestu a způsoby, jak vodní páře umožnit snadný přechod do atmosféry a rizikový faktor kondenzace vody uvnitř konstrukce tak vyloučit. Jinak řečeno musíme zabezpečit vhodným konstrukčním řešením stav, kdy v celoroční bilanci je množství zkondenzované vodní páry menší než množství vodní páry, která je schopna se z konstrukce odpařit.

Z hlediska vlhkosti jsou nejvíce namáhány suterénní konstrukce objektů s nefunkčním nebo neexistujícím hydroizolačním systémem, do kterých se vlhkost dostává vztlínáním nebo difuzí vodní páry z podzákladí. V takovém případě vodní pára ve zdivu kondenzuje a je kapilárními silami transportována do nadzákladových částí zdiva. Tyto konstrukce jsou pak zdrojem zvýšené vlhkosti. Nejčastější průniky a typické transportní cesty jsou vyobrazeny na Obr. 8.



Obr. 8 Příčiny vlhnutí zdiva [3]



4.1 Voda srážková (dešťová)

Vytvořením zábran proti průnikům vody s označením 1 nečiní v praxi zpravidla větší technické potíže, dohlédneme-li na dokonalé zastřešení objektu včetně všech klempířských prvků a navazujících detailů.

Voda s označením 1a, tj. voda srážková hnaná větrem na obvodové zdivo, bývá mnohdy podceňována. Je třeba mít na paměti, že za deště a větru dosahují nárazy vodních kapek značného tlaku a voda proniká do velké hloubky zdiva zejména trhlinami. Stav promáčení zdiva je kritický při prudkých změnách teploty, zejména v jarních a podzimních obdobích při poklesu teploty pod 0 °C. Voda v pórech zdiva zamrzá a vytváří tak tlak, kterým se zdivo porušuje. Se stoupající výškou nad terénem se také zvětšuje rychlost větru a tím i intenzita deště hnaného větrem. Zavlhčení je tedy markantnější v horních podlažích budov. V různých zdrojích se udává, že cihelné neomítnuté zdivo o tloušťce 380 mm provlhčí plně déšť za pouhých cca 9 hodin. Totéž zdivo ale omítnuté se provlhčí za cca 86 hodin. Z uvedeného vyplývá velký význam omítek, které chrání vlastní zdivo před srážkovou vodou. Osvědčeným prostředkem se rovněž stávají fasádní nátěrové hmoty s hydrofobními účinky. Tyto fasádní nátěrové hmoty neumožní, aby kapky vody pronikaly do omítky a obvodového zdiva. Póry zdiva přitom zůstávají otevřené a neovlivňují negativně difuzi vodních par. [3]

Voda s označením 1b, tedy voda odstříkující a odrážející se od přilehlého terénu, bývá brána v potaz do výšky cca 400 mm nad terénem. Jde o spodní část soklového zdiva, kde se vyskytuje zvýšené namáhání působením srážkové odstříkující vody a na jaře zvýšeným namáháním z důvodu vody z tajícího sněhu, při nesprávném vyspádování chodníku. K tomu se připisuje ještě namáhání chemickými posypy chodníků a solemi v zimním období apod.

Srážková voda pronikající komínovými průduchy do objektu s označením 1c je problémem převážně u objektů, u kterých se přebudovalo lokální topení na ústřední nebo byl objekt napojen na teplárnu. Tak se stalo, že objekt s několika desítkami komínových průduchů má dnes funkční pouze jeden nebo dva z nich. Totéž platí téměř všeobecně o chalupách, neboť se v nich topí jen občas. Není-li komín pravidelně užíván, stéká voda za deště po stěnách komínů a hromadí se na jejich dně ve vrstvě popela a sazí a odsud se následně vsakuje do okolního zdiva. Mnohem významnější je dotace vody u širokých (průlezných) komínů. Jde o nezanedbatelný zdroj vlhkosti, který lze odstranit zastřešením komínových těles nástavci se stříškou, nebo jiným vhodným klempířským prvkem. [3]

4.2 Voda vzlínající (kapilární)

Tato voda proniká do stavebních konstrukcí z podzákladí a ze zeminy obklopující tyto konstrukce pod úroveň terénu procesem kapilárního vzlínání (viz. 3.6). Základová spára nemusí zasahovat pod hladinu podzemní vody. Přísun vody do základového zdiva zajišťuje často kapilarita otevřených pórů zemin, jindy zkondenzovaná voda na základovém zdivu stavebního objektu, kterou nasávají póry zdiva a transportují zdívkem vzhůru. Vlhkostí od vzlínající vody ale můžou trpět i objekty, které se nacházejí na písčitém návrší, několik desítek metrů nad hladinou spodní vody. Kapilární výška písku

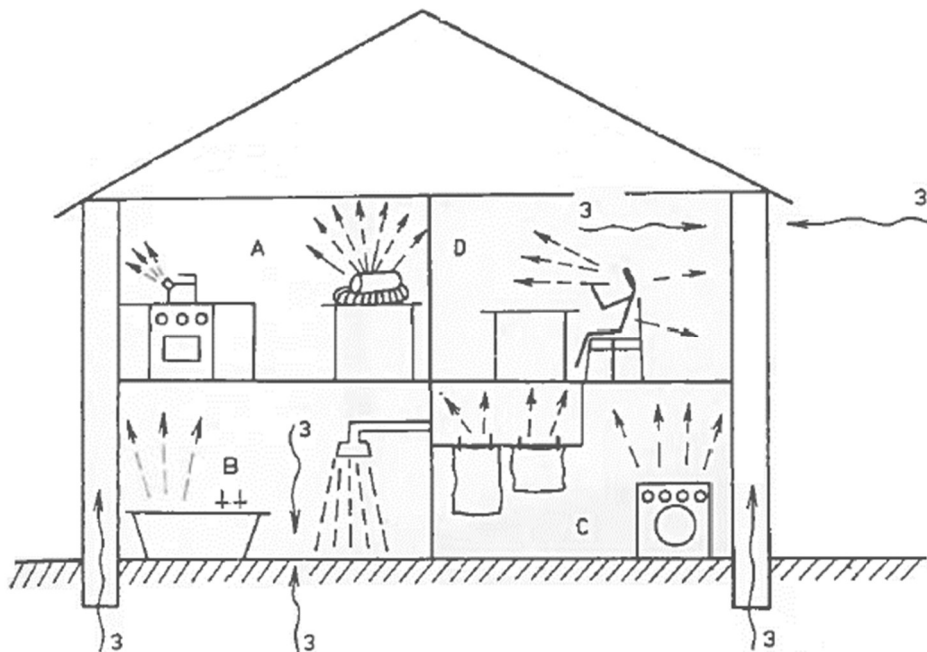


je přitom (kvůli velké pórovitosti) velmi malá (několik desítek cm) a zdaleka nedosahuje k patě základového zdiva. Vodu dopraví do této výšky difuze vodní páry. Vodní pára pak na základovém zdivu zkondenzuje a promění se zpět ve vodu, která se dále šíří zdívnými kapilárními silami. [3]

4.3 Voda kondenzovaná (vodní pára)

V této skupině příčin vlhnutí zdiva se setkáváme s termíny difúze vodní páry a kondenzace (viz. kap. 3.2, 3.3). Voda se sráží na chladných místech zdi, jejíž teplota je nižší, než je rosný bod pár obsažené ve vzduchu kolem zdi nebo pronikající do zdiva zeminou, základovým zdivem. Ke kondenzaci může dojít jak pod úrovní terénu, tak i nad terénem, např. na stropě nejvyššího nadzemního podlaží.

Několik zdrojů vodní páry v obytných domech demonstruje Obr. 9. Pára vzniká například při přípravě jídel v kuchyni v množství až cca 500 g za hodinu nebo během koupání rovněž asi 500 g za hodinu. Člověk v klidu vydýchá cca 1000 g vody za 24 hodin. U manuálně pracujícího člověka je to přes 2000 g. [3]



Obr. 9 Vodní pára v bytě získaná z několika zdrojů [3]

Mezi další příčiny zvlhnutí zdiva vlivem kondenzace můžeme zahrnout například rozvody studené vody ve zdivu. Vlhkost z ovzduší se sráží na nedostatečně tepelně izolovaných trubkách a zkondenzovaná voda se pak dále vsakuje do okolního materiálu, kde vytváří vlhké skvrny.

U podsklepených objektů je nutno vždy zajistit dobré větrání sklepů. To je zvláště důležité, pokud je hladina podzemní vody v malé hloubce pod základy zdiva, a navíc se ve sklepech vyskytují otevřené, nebo neodborně zasypané studny. Komplikovaná situace nastává navíc v nevytápěných suterénních prostorách, kde se okna z opatrnosti proti vniknutí do objektu obvykle neotvírají vůbec. Často se navíc ucpávají kvůli zabránění



úniku tepla, nebo se nakonec časem zazdí a větrací mřížky zakryjí. Provoz ventilačních systémů by měl být nezávislý na lidském faktoru.

U nepodsklepených objektů je třeba brát v potaz, že v minulých dobách se používaly výhradně dřevěné podlahy na násypech, které difuzi vodní páry umožňovaly. Pokud se stará podlaha nahradí novou – například betonovou deskou s nášlapnou vrstvou z PVC (která je pro vodní páru prakticky nepropustná) a navíc se kolem objektu vybuduje nová asfaltová silnice, vodní pára má poté pouze jedinou možnost kudy uniknout a tou je zdivo objektu, v němž dochází ke kondenzaci. [3]

4.4 Voda působící hydrostatickým tlakem

Jde o vodu znázorněnou na obrázku pod číslem 4. Jedná se o vodu z kaluží či o vodu z různých dutin, která působením gravitace proniká do pórů zeminy a do pórů zdiva. V době jarního tání sněhu a jarních déle trvajících dešťů se zvyšuje hladina podzemní vody nad úroveň podlah suterénních místností. Tato voda působí hydrostatickým tlakem a proniká do obvodových zdí konstrukcí. [3]

4.5 Hygroskopicita stavebního materiálu

O hygroskopicitě¹⁾ stavebního materiálu hovoříme nejčastěji tehdy, jestliže stavební materiál obsahuje soli s hygroskopickými vlastnostmi. Tyto soli mají tu vlastnost, že přejímají vodu z okolního vzduchu. Obsahuje-li zdivo větší množství takových solí, je ovlivněna jeho rovnovážná vlhkost, která může pak dosáhnout několikanásobku rovnovážné vlhkosti stavebního materiálu¹ bez solí. Soli se do zdiva dostávají hlavně za pomoci tvrdé spodní vody, které vzlíná zdivem z podzákladí, nebo takzvané kyselé deště. [3]

4.6 Další zdroje vlhkosti zdiva

4.6.1 Sanitní instalace

Místo defektu není někdy snadné nalézt, zejména nemáme-li k dispozici plán rozvodu vody a kanalizace. U vodovodního rozvodu je možno provést tlakovou zkoušku, ale u odpadní kanalizace to zpravidla možné není. Prošetření druhu závady a vypracování návrhu na opravu musí vždy provést specializovaná firma.

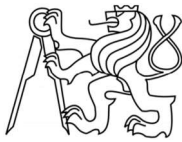
4.6.2 Okapové žlaby a dešťosvody

Žlaby a dešťosvody je nutno pravidelně revidovat, aby nedocházelo k ucpávání a tím hromadění srážkové vody, která by dále stékala po fasádě. Voda z dešťosvodů musí být vyústěna do kanalizace nebo do bezpečné vzdálenosti od objektu.

4.6.3 Trhliny a mikrotrhliny ve zdivu

K častému porušování omítek a zdiva dochází například objemovými změnami, způsobenými účinky teploty a vlhkosti. Při vysychání povrchu omítek se trhliny smršťují,

¹⁾ *Hygroskopicitá – schopnost látky snadno pohlcovat a udržovat vzdušnou vlhkost. Hygroskopické látky za vlhka měknou a za sucha tvrdnou*



někdy popraskají, či jinak deformují. Trhliny se mohou tvořit také nadměrným hlukem z dopravního ruchu, např. od provozu těžkých nákladních automobilů, přelety nadzvukových letadel apod. Těmito cestami vniká do zdiva srážková voda velmi snadno a poškozuje materiál zdiva.



5 NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY PORUCH ZDIVA

Hlavní příčinou viditelných i skrytých poruch z hlediska vlhkosti je velká hmotnostní vlhkost stavebního materiálu, často spojená s vysokou salinitou a výskytem mikrobiologických škůdců. Nepřerušené pronikání vody do zdiva je způsobeno mnohými příčinami (viz. kap. 4). Vždy se jedná o závadu konstrukcí, eventuálně souvisejícího technického zázemí. Nebrání-li konstrukce v dostatečné míře pronikání vody do objektu, považujeme to za vadu. Téměř ke všem vadám došlo postupně časem, dožitím izolací, změnou využívání nebo vadným provedením, případně vadným návrhem stavby.

5.1 Absence hydroizolací spodní stavby, izolace dožilé

Častými poruchami spodních staveb je absence, nebo dožilý nevyhovující stav hydroizolace spodní stavby. U historických staveb můžeme nalézt vkládané ostře pálené keramické materiály do zdiva, kamenné desky, jílové vrstvy při patě obvodového zdiva pod soklovou oblastí, nebo systém vzduchových kanálků pod podlahami nebo při obvodě. Obvykle jsou zejména u samostatně stojících vil vybudovány takzvané anglické dvorky, často navzájem propojené odvodňovacím systémem. U staveb s poruchami vlivem vlhkosti jsou tyto původní izolace a systémy dožilé a ztratily částečně nebo úplně svojí funkci. Často jsou pak původní, zejména stavební opatření naopak příčinou dalších poruch (shromažďování vody ve vzduchových dutinách atd.). [3]

5.2 Vadné návrhy izolace staveb, jejich nekvalitní provedení, vady vzniklé změnou podmínek stavby

U izolačních systémů budov často vznikají chyby již při návrhu, kde autor nedostatečně nebo neodborně posoudí podmínky pro založení budovy, anebo následným nekvalitním provedením izolací. Nejčastější vady při realizaci jsou:

- podcenění detailů styků vodorovných a svislých plošných izolací – tzv. zpětné spoje;
- vadné spojení jednotlivých izolačních pásů;
- vadně provedené detaily ukončení izolace a ochranných vrstev při styku s terénem;
- izolační práce jsou prováděny v nevhodných klimatických podmínkách.

Můžeme se ovšem i setkat s případy, kdy byla izolace staveb dobře navržena a provedena, ale následně se změnila hydrogeologická vlastnost okolního terénu a podzákladí budovy. K takové situaci může dojít různými způsoby jako například nevhodně založenou novostavbou v blízkém okolí, nevhodným prováděním povrchů nejbližšího okolí, nebo dynamickými účinky způsobovanými například pojezdy těžkých nákladních aut apod. Paradoxem je, že účinností okolní neporušené izolace dochází často ke zvýšené kumulaci vody v oblastech dříve jenom zavlhklých. Její pronikání například novými prasklinami se následně může projevit i volným proudem vody. Tento jev je odpovědí na otázku: „*Jak je možné, že vlhkost (voda) se projevuje na dřívě relativně suchých místech? A to po provedení dodatečných izolací!*“. [4]



Stavební vady, které negativně ovlivňují vlhkost zdiva můžeme rozdělit na dvě skupiny. První skupinou jsou vadné detaily vytvořené jako součást stavby a druhou skupinou vnímáme nevhodné, dodatečné úpravy.

5.2.1.1 Vadné detaily jako součást původní stavby jsou:

- anglické dvorky založené v nevhodné hloubce – většinou v úrovni nad podlahami suterénů. Původní záměr počítal s principem výšky pronikání vody do terénu a nepovažovalo se tedy za nutné zakládat tyto zejména přisvětlovací otvory sklepů „zbytečně“ hluboko. Princip však neplatí v okolí velké stavební jámy – suterénů budovy a jejich základů. Anglickými dvorky takto konstruovanými se voda do zdiva naopak přivádí;
- vzduchové dutiny pod podlahami polosuterénů a suterénů bez účinných vdechových a výdechových otvorů – tj. bez proudění vzduchu. S nádechovým otvorem v interiéru nasávajícím teplý vlhký vzduch, který v chladné dutině může kondenzovat;
- nevhodná řešení pochůzných chodníků podél fasád – jejich skladba neumožňuje zpětnou difuzi, čímž se voda kumuluje pod nimi a namáhá izolaci zdiva, která již bývá nedostatečná.

5.2.1.2 Nevhodné dodatečné úpravy

Nevhodné, dodatečné úpravy jsou všechna izolační nebo stavební opatření, která neodpovídají původním záměrům stavby a fyzikální stav zdiva z hlediska vlhkosti zhorší.

- utěšňující povlaky – bývají dokladem o problémech, které měli majitelé s vlhkostí. Zároveň však vytvářejí nevhodnou utěšňující vrstvu, pod kterou se voda shromažďuje a vzlíná výše (asfaltové nátěry a pásy pod omítkami, hutné cementové omítky);
- dodatečně provedené plošné dutiny za přízdívkami – bez propojení s atmosférou zejména kolem obvodového zdiva. Vzduch se v nich postupně nasytí vlhkostí a přenáší zavlhčení do přízdívky;
- betonové povrchy chodníků a dvorků – jsou příčinou dalšího shromažďování vody pod nimi a kvůli nemožnosti odparu druhotně vnikají do zdiva.

5.3 Nedostatečná mrazuvzdornost

Mezi další časté poruchy můžeme zařadit poruchy vzniklé působením mrazu. Mrazuvzdornost, neboli odolnost proti zmrazovacím cyklům, je schopnost materiálu odolávat přeměně vody na led. Tato odolnost je tím vyšší, čím je vyšší pevnost materiálu, zvláště pevnost v tahu za ohybu. Materiály s nižším elastickým modulem (měkčí) se lépe podrobují krystalickému tlaku při přeměně na led. Sama fázová přeměna voda-led je doprovázena desetiprocentní změnou objemu – nárůstem. Pokud se voda dostane skrze póry nebo trhliny do zdiva, má často až katastrofální účinky. [4]

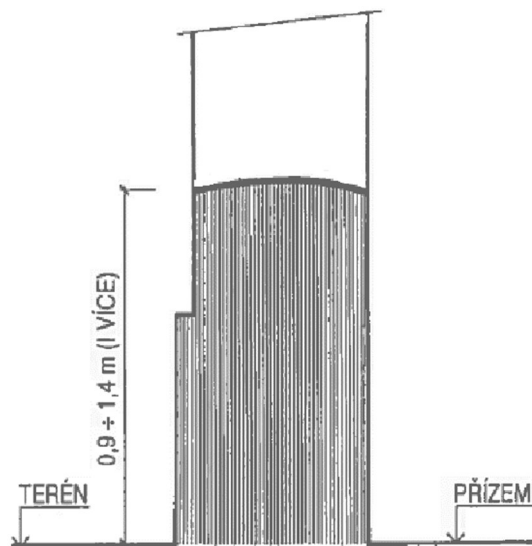


5.4 Příčiny poruch zdiva v příkladech

V následující kapitole se budu zabývat především vodou, která proniká do konstrukce z boků, volně vtéká a vzlíná v podzákladí. Toto dělení bylo radikálně zjednodušeno s ohledem na dále uvedené příklady a zejména proto, že stačí k naznačení možné cesty sanačních úprav.

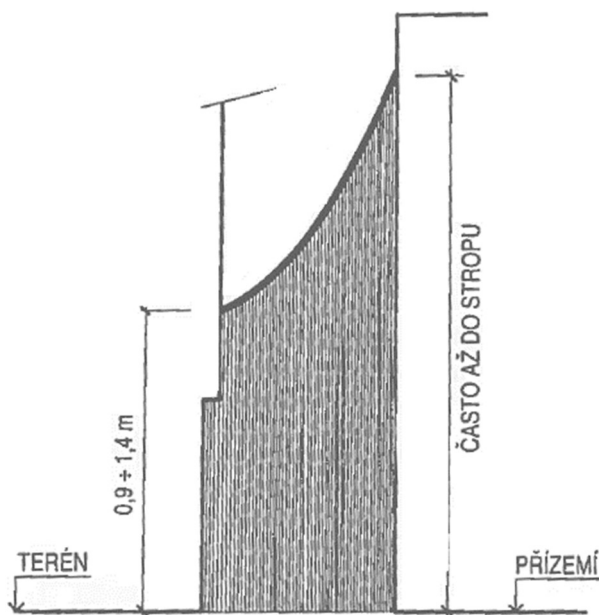
Příklad 1

Plochy zdiva nepodsklepeného objektu jsou porušovány vlhkostí, jejíž hranice nekolísá a je jen velmi málo závislá na atmosférických podmínkách. Po období dlouhých dešťů se hranice zvýší s určitým zpožděním (3 až 7 dní). Skvrny v interiéru i exteriéru jsou přibližně na stejné úrovni. **Toto je vlhkost do zdiva vzlínající.** [7]



Obr. 10 Příklad č. 1 [7]

Příklad 2

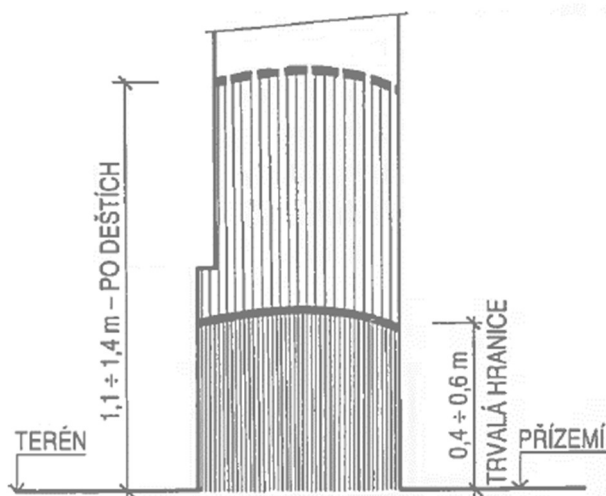


Obr. 11 Příklad č. 2 [7]

Obdobný případ jako předchozí, pouze s tím rozdílem, že na vnitřní stěně objektu je hranice vlhkosti podstatně vyšší. **V tomto případě se jedná o kombinaci vlhkosti vzlínající s vlhkostí, která na povrchu zdi kondenzuje.** Výrazný vliv na tento druh vlhkosti má funkce využívaných prostor, případně nevhodné řešení povrchů. Významnou roli hraje také způsob větrání/vytápění atp. [7]



Příklad 3

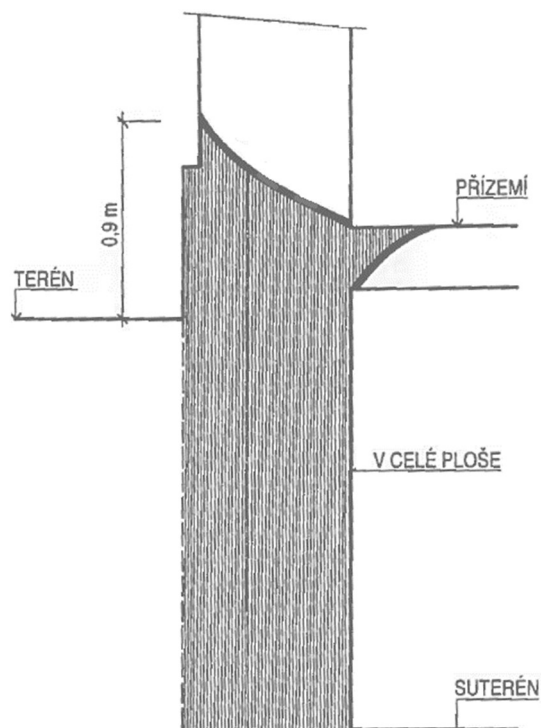


Obr. 12 Příklad č. 3 [7]

Opět nepodsklepený objekt, u kterého se zvyšování vlhkosti na fasádách projevuje v přímé závislosti na deštích (po několika hodinách, někdy až 3 dnů). Rozdíl hranic vlhkosti na zdivu v interiéru a v exteriéru bývá až několikanásobný. **Původcem této vlhkosti je boční pronikání vody do zdiva, výraznou roli hraje i použitý stavební materiál.** [7]

Příklad 4

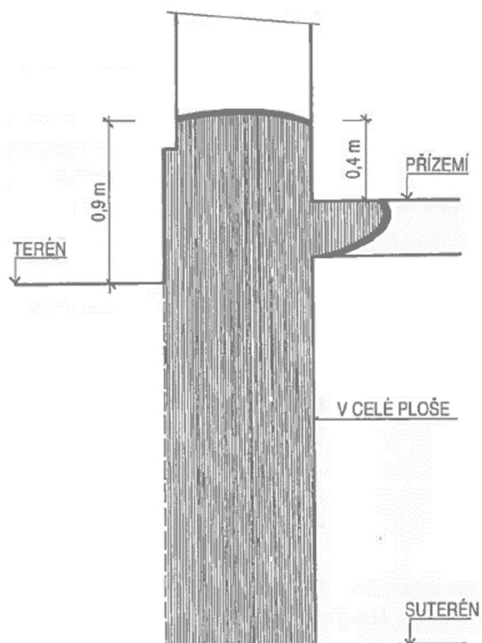
Podsklepená budova, kde je vlhkostí narušena celá plocha stěn suterénu a do určité výše i soklová část. Tyto závady nejsou přímo závislé na atmosférických podmínkách. **Hlavní příčinou je voda, která proniká do boků vlivem porušené plošné izolace a pak druhotně vzlíná do obvodového zdiva.** Souvisejícím důvodem bývá i nevhodná skladba povrchů v přímém okolí budovy. [7]



Obr. 13 Příklad č. 4 [7]



Příklad 5

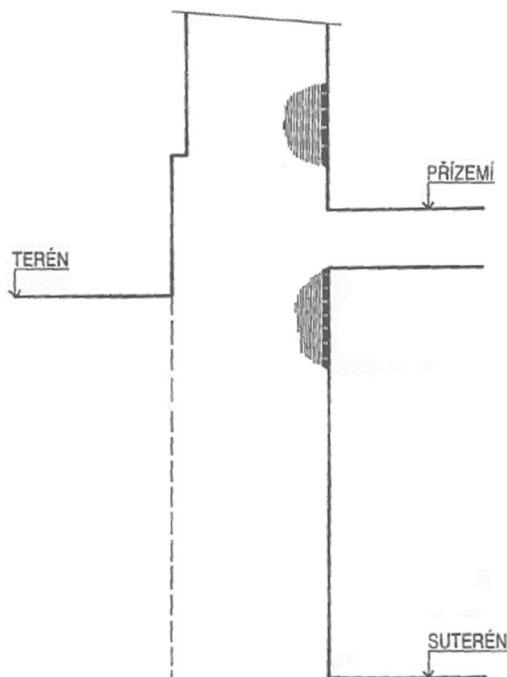


Obr. 14 Příklad č. 5 [7]

Obdobný případ jako předchozí, pouze s tím rozdílem, že vlhkost se navíc objevuje v interiérech v přízemí. Její hranice je poněkud nižší nebo vyrovnaná s hranicí na fasádě. Ani takové závady nejsou přímo ovlivňovány dešťovými srážkami. **Zde se jedná o vlhkost kombinovanou, tzn. vodu pronikající do zdiva z boků a vodu vzlínající do zdiva z podzákladí.** [7]

Příklad 6

Na plochách zdiva se v různých výškách objevují vlhké skvrny, téměř vždy v koutech. Jsou rozvrženy velmi neurčitě a jejich velikost se mění. Některé přetrvávají v průběhu celého roku. Jev je častý na schodišťových stěnách, v suterénních místnostech na zdech obvodových a v suterénních i přízemních místnostech sousedících s vedlejšími objekty. **Porucha je způsobena vlhkostí kondenzační** (tzn. rozdílem teplot prostorů, materiálem použitým na omítky a skladbou zdiva – např. zdiva smíšená s kamennými kvádry, betonové prvky nedostatečně tepelně izolované apod.). [7]



Obr. 15 Příklad č. 6 [7]



6 PRŮZKUM OBJEKTU

Aby bylo možno naplánovat a provést odborný sanační návrh na vlhkém stavebním objektu, je třeba nejdříve prošetřit stávající stav. K tomu se provádí jednotlivé odborné průzkumy, které vedou (měli by) ke zjištění všech příčin zavlhání zdiva a zjištění všech parametrů zdiva. Provedení těchto průzkumných prací a jejich správné vyhodnocení spojené s projektovou přípravou s dostatečným předstihem před realizační fází jsou základní podmínkou pro dobrý výsledný efekt, tj. odstranění nežádoucí vlhkosti ze zdiva. [3]

Podklady, které je třeba získat před vlastním návrhem snížení vlhkosti zdiva jsou:

- posouzení skutečného stavu zdiva (ne pouze viditelného);
- výstupy z historických dokladů o stavbě, době jejich vzniku a době dodatečných úprav;
- posouzení základových poměrů z hlediska jejich možného působení na vlhkost zdiva stavby;

Všechny tyto informace nazýváme souhrnně průzkumy a hloubka jejich zpracování je určena dvěma základními hledisky:

- 1) Průzkumy nutné, které nelze vynechat – vlhkostní průzkumy, průzkumy salinity a šetření na místě.
- 2) Průzkumy doplňující, které mohou být ve svém rozsahu upraveny. V závislosti dle podmínek stavby, srovnávacího historického materiálu, zkušeností ze staveb v blízkém okolí nebo v podobném prostředí.

Pro všechny druhy průzkumů platí, že jsou zpracovávány přiměřeně k rozsahu dané stavby a závažnosti problémů.

Průzkumy, které je třeba zpracovat vždy, jsou:

- místní šetření na stavbě;
- zjišťování hmotnostního obsahu vody na stavbě – vlhkostní průzkum;
- informace o podzákladi a vlastnostech okolního terénu;
- průzkum salinity;
- průzkum z hlediska biokoroze;
- průzkumy archivní.

6.1 Místní šetření na stavbě

Podrobné stavební popsání viditelných poruch se všemi dostupnými souvislostmi je základní potřebnou informací. Může být zpracováno formou textovou i grafickou. Vhodné a příkladné je použití předem připravené schéma otázek.

Součástí místního šetření je rozhovor s uživateli objektu, jejichž informace jsou často nenahraditelné. Oni totiž v domě žijí mnohonásobně déle, než jakou může autor návrhu a posudku věnovat průzkumu. Odpovědi by se měli týkat hlavně: [4]



- délky užívání budovy;
- doby pozorování poruch;
- subjektivních problémů s vlhkostí;
- kolísání poruch v závislosti na atmosférických podmínkách;
- vedlejších, dodatečných úprav v minulosti;
- ochoty a možnosti realizovat v budoucnu navržené opravy.

6.2 Zjišťování hmotnostního obsahu vody v konstrukcích – vlhkostí průzkum

Vlhkost stavebních materiálů vyjadřujeme zpravidla jako hmotnostní vlhkost w_h [%], která udává poměr hmotnosti vody obsažené ve vlhkém vzorku. Hmotnostní vlhkost se udává vztahem:

$$u_h = \frac{m_w - m_d}{m_d} * 100\% \quad (11)$$

kde: u_h – hmotnostní vlhkost [%]

m_w – hmotnost vlhkého materiálu [kg]

m_d – hmotnost suchého materiálu, včetně sorpční vlhkosti [kg]

Norma předepisuje a kategorizuje přiměřené a zvýšené hodnoty. Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení [8] je uvedena Tab. 2.

Tab. 2 Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 [8]

Hmotnostní vlhkost [%]	Klasifikace
$w_h < 3,0$	Vlhkost velmi nízká
$3,0 < w_h < 5,0$	Vlhkost nízká
$5,0 < w_h < 7,5$	Vlhkost zvýšená
$7,5 < w_h < 10,0$	Vlhkost vysoká
$10,0 \leq w_h$	Vlhkost velmi vysoká

Využívání prostor má svá specifika a je samozřejmé, že jiné nároky na kvalitu prostředí má například archiv a kancelář oproti sklepům a koupelnám. Tyto zásadní rozdíly jsou ještě znásobeny zejména vnějšími vlivy (jinak se chová zdivo přiléhající k rostlému terénu, zdivo obvodové, zdivo rozdělující vytápěné a nevytápěné prostory apod.). Dalším prvkem ovlivňující práci s kategoriemi vlhkosti je konstrukční materiál. Jinak posuzujeme nenasákavý, difuzně nepropustný materiál a jinak například cihly, polystyren apod. Klasifikace hmotnostní vlhkosti zdiva je dána zejména potřebami daného způsobu využívání. [4]



Dle ČSN 730540-3 [9] lze určit maximální normovou hmotnostní vlhkost materiálu, která nemá být při zabudování materiálu do stavební konstrukce překročena. Hodnota se určí ze vztahu:

$$u_n = u_{23/80} + z_2 + z_3 \quad (12)$$

kde: u_n – hmotnostní vlhkost konstrukce, která nemá být překročena [%]

$u_{23/80}$ – charakteristická hmotnostní vlhkost materiálu [%] (tabulka A.1 viz příloha)

z_2 – součinitel materiálu (tabulka A.8 viz příloha)

z_3 – součinitel způsobu zabudování materiálu do stavební konstrukce (tabulka A.9 viz příloha)

Vypočtená hmotnostní vlhkost se porovnává s vypočtenou hmotnostní vlhkostí materiálu včetně uvažování sorpční vlhkosti. Pokud je hmotnostní vlhkost w_n menší nebo rovna maximální normové vlhkosti materiálu w_n , vlhkost materiálu se nachází v normových hodnotách. Pokud maximální normová vlhkost w_n překročí hmotnostní vlhkost materiálu w_h , jedná se o zvýšenou vlhkost. [4]

6.3 Metody měření vlhkosti

Rozložení vlhkosti v konstrukci a její časové změny jsou jednou z klíčových informací pro posouzení stavu konstrukcí. Zodpovědné stanovení diagnózy vlhkého zdiva musí vycházet z co nejpřesnějších informací, především objektivního zjištění skutečného vlhkostního stavu zdiva.

Metody měření vlhkosti lze rozdělit:

- **podle způsobu odběrů vzorku:**
 - *destruktivní* – pro určení vlhkosti je odebírán vzorek materiálu;
 - *nedestruktivní* – stanovení obsahu vlhkosti je nejčastěji prováděno příložným přístrojem nebo je měřicí čidlo zbudováno přímo do měřeného materiálu;
- **podle způsobu měření:**
 - *přímé* – měřenou veličinou je množství vody v materiálu, která je oddělena od materiálu;
 - *nepřímé* – je měřena konkrétní fyzikální veličina v závislosti na měřící se vlhkosti materiálu (elektrický odpor, tepelná vodivost, pohlcování γ – záření apod.), měření je nedestruktivní.

V rámci terénního průzkumu je třeba zohlednit hned několik aspektů. Mezi první aspekt patří způsob odběru vzorků a zhodnocení míry ovlivnění kvality vzorků různými způsoby odběru. Pro získání relevantních analytických výsledků je třeba zohlednit také množství odebíraných vzorků a jejich velikost ve vztahu k celé stavební konstrukci. V neposlední řadě musíme brát zřetel na místa odběrů vzorků pro další hodnocení (neprovádíme měření v místě jednoznačně zavlhlých zdí volnou vodou – zatékání, poruchy dešťových svodů apod.).



Odběr vzorků se provádí odsekáním nebo vývrtem. Při ručním odběru se nejdříve odseká omítka až na zdivo a poté se postupuje v sekání do hloubky zhruba 100 mm, kde jsou vlhkostní poměry zdiva již vyrovnané. Při použití jádrového vrtáku, a hlavně u spirálového vrtáku, je nutné respektovat chybu, která vznikne při odpaření části vlhkosti zahřátím vrtáku (při vlhkosti vzorku 15% je chyba -1%).

Dalším důležitým aspektem je velikost odebraného vzorku. Věrohodnost nalezených hodnot závisí na reprezentativnosti vzorku, nakolik je vzorek charakteristický pro daný objekt nebo konstrukci. I malý vzorek by neměl obsahovat zrna nebo částice, jež se v materiálu vyskytují ojediněle a jejichž vlastnosti nejsou obrazem vlastností většiny materiálu konstrukce. V praxi jsou nejčastěji odebírány vzorky o hmotnosti 50-200 g.

Volba místa odběru závisí na tom, jakou informaci chceme analýzou získat, např. rozložení vlhkosti ve svislém profilu, v příčném směru, v omítce, ve spárové maltě apod. Při měření vlhkosti musíme vždy dbát na srovnatelné údaje. Vlhkost obvykle proniká rychleji a do větší hloubky maltou a zasahuje jen okraje cihel nebo kamene.

Pro odebrání a vyhodnocení vzorků bývá často užívána kombinace některé přímé (nejčastěji elektrické metody) a alespoň část vzorků se ověří metodou destruktivní – gravimetrickou. Nepřímé metody udávají hodnoty vlhkosti zdiva pouze do hloubky několika centimetrů pod povrchem konstrukce, mezi velké výhody však patří nenarušení zkoumaného vzorku a též okamžité zjištění výsledků. Měřicí přístroje jsou jednoduché a snadno přenosné. U všech nepřímých metod je nutné předem provést kalibraci – zjistit závislost vlhkosti na měřeném parametru. Standardně se pro porovnávání těchto metod používá gravimetrická metoda. [4]

6.3.1 Gravimetrická metoda

Podstatou gravimetrické (vážkové) metody je oddělení vody od pevné fáze a stanovení jejich hmotností. Princip spočívá v tom, že je ze zkoumaného objektu odebrán vzorek. Ten je následně uzavřen do těsně uzavíratelné nádoby, abychom předešli ztrátě vlhkosti vlivem času, než vzorek doputuje ze zkoumaného objektu do laboratoře. V laboratoři se vzorek přesně zváží a vysuší (nejčastěji ve větrané peci) do ustálené hmotnosti. Rozdíl hmotnosti vlhkého vzorku a hmotnosti suchého vzorku (včetně ponechání cca dvou dnů v laboratoři k získání sorpční vlhkosti ze vzduchu) je roven hmotnosti vody, která ve vzorku byla obsažena. Hmotnostní vlhkost, jak už bylo zmíněno, se určí ze vztahu (11).

Při měření vlhkosti gravimetrickou metodou nezáleží na druhu materiálu, jehož vlhkost je zkoumána. Největší výhodou této metody je právě její nezávislost na dalších parametrech materiálu a není tedy třeba sestavit kalibrační křivku. Proto je gravimetrická metoda považována za standardní a univerzální.

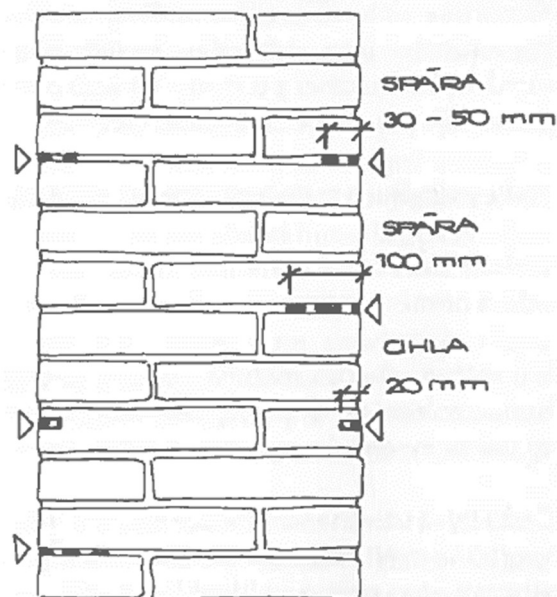
Hlavní nevýhodou této metody je destruktivní charakter odběru a tím znemožněné kontinuální sledování vlhkosti v určitém místě a časové zpoždění informace, neboť výsledek obdržíme až po vysušení odebraného vzorku. Nicméně i přes uvedené nevýhody je tato metoda stále nejužívanější a nejpřesnější. [4]



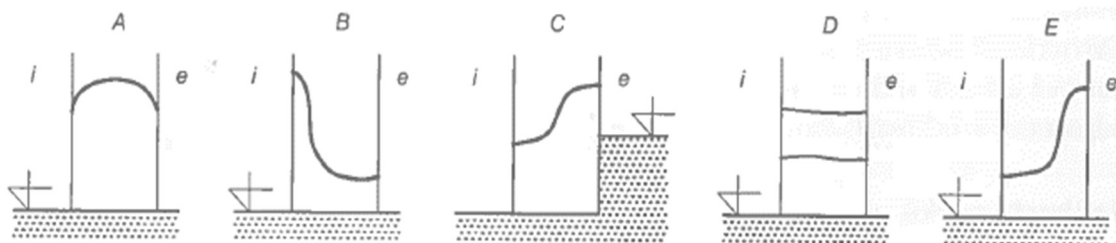
6.3.1.1 Stanovení vlhkovního profilu

Pro stanovení příčiny zvýšené vlhkosti zdiva je důležitý tzv. vlhkovní profil. Tento profil stanovíme vyhodnocením odebraných vzorků v různých výškách (doporučeno ve třech) a různých hloubkách v každé výšce (opět vhodné ve třech hloubkách) viz Obr. 16. K vyhodnocování vlhkosti odebraných vzorků se použije gravimetrická metoda.

Vlhkovní profil se vyhodnotí zakreslením čela zavlhčení v řezu zdiva. Obr. 17 ukazuje průběh tzv. čela zavlhčení, tedy hranice mezi vlhkým a suchým zdivem. Hranice je ostrý přechod mezi vysokou vlhkostí (např. 15–20 % hm.) a nízkou vlhkostí (cca 2–4 % hm.). Vyhodnocení provedeme tak, že zakreslíme do řezu výsledky zjištěné vlhkosti jako suché a vlhké. Suchými rozumíme výsledky do 20 % nasycení, vlhké nad 50 % nasycení. [4]



Obr. 16 Schéma odběru vzorků ke stanovení vlhkovního profilu [4]



Obr. 17 Příčiny vlhnutí zdiva podle rozložení vlhkosti ve zdivu [4]

6.3.2 Elektrické metody měření vlhkosti

Tyto nepřímé metody jsou založeny na měření elektrických veličin, které jsou ovlivněny vlhkostí měřeného materiálu, reagují ale kromě vlhkosti i na další fyzikální a chemické vlastnosti materiálu. Proto musí být každé elektrické zařízení na měření vlhkosti kalibrováno pro příslušný stavební materiál zvlášť.

Z elektrických metod se používá především kapacitní a odporová metoda, které se nejlépe osvědčily pro měření povrchové vlhkosti zdiva. Příložný vlhkoměr stanovuje hodnoty vlhkosti materiálu do hloubky max. 50 mm pod povrchem konstrukce. Používá se pro rychlé orientační stanovení vlhkosti, je vhodné pro stanovení rozhraní suchých a vlhkých částí konstrukce a pro určení výšky zavlhčení zdiva.



6.3.3 Kapacitní metoda měření vlhkosti

Jedná se o elektrickou metodu, jejíž podstatou je určení závislosti elektrických vlastností nekovových stavebních materiálů na vlhkosti. Obecně je kapacitní metoda měření vlhkosti založena na principu měření změny kapacity kondenzátoru, jehož dielektrikem²⁾ je zkoumaný materiál. Změna kapacity je závislá na vlhkosti materiálu. Vlhký celek může být z hlediska elektrického pole považován za nestejnorodé dielektrikum, které je jako celek charakterizováno hodnotou relativní permitivity ε .

„Běžné stavební materiály mají relativní permitivitu menší než 10, zatímco relativní permitivita vody je přibližně 82, tzn. že i malá přítomnost vody v materiálu působí na výrazné změny jeho relativní permitivity.“ [10]

Kapacitní metody jsou založeny na měření buď přímo relativní permitivity ε_r , nebo na jiné veličiny na relativní permitivitě ε_r závislé. Pro relativní permitivitu platí vztah:

$$\varepsilon_r = \frac{A}{(B - u)^2} \quad (13)$$

kde: ε_r – relativní permitivita [–]

u – hmotnostní vlhkost [–]

A a B – konstanty závislé zejména na objemové hmotnosti měřeného materiálu a jeho pórové struktuře [–]

K hlavním výhodám kapacitní metody patří zanedbatelný vliv okolní teploty na výsledek měření, malý vliv solí rozpuštěných ve vodě a možnost měření v širokém rozmezí vlhkostí. V oblasti nízkých vlhkostí zdiva (0-6 %) lze touto metodou získat relativně přesné výsledky bez ohledu na množství soli ve zdivu. U vlhkostí nad touto hranicí je už rozptyl naměřených hodnot poměrně velký a s ním klesá i přesnost této metody. Pro extrémně vlhké konstrukce nelze touto metodou již získat výsledky s považovanou přesností. [10]

K nevýhodám patří především nutnost kalibrovat přístroj pro každý materiál zvlášť.

6.3.4 Odporová metoda měření

Princip metody spočívá v měření měrného odporu vlhkého materiálu, který se velmi výrazně mění s vlhkostí. Vlhkost vyskytující se v materiálu, v podobě vody je vždy více vodivá než materiál jako takový, což znamená, že vodivost materiálu se zvětšuje při vzrůstu vlhkosti.

Měření vlhkosti ovlivňuje především odpor mezi měřicími elektrodami a materiálem, geometrické uspořádání elektrod, obsah solí v měřeném materiálu a geometrické rozložení vlhkosti. Dobrých výsledků měření se dosahuje při rovnoměrném rozložení vlhkosti ve zdivu. Značný vliv na měření má teplota a koncentrace solí ve zdivu. U

²⁾ Dielektrikum – látka (většinou izolant), která má schopnost polarizace. Každý izolant je dielektrikem, nikoli však každé dielektrikum izolantem. [40]



zasoleného zdiva je vhodné touto metodou měřit hodnoty vlhkosti maximálně do 6 % hmotnostní vlhkosti. Se stoupající vlhkostí a obsahem solí ve zdivu přesnost této metody výrazně klesá. [10]

6.3.5 Mikrovlnná metoda

Tato metoda je založena na poznatku využívající vlivu vlhkosti na útlum mikrovlnného záření při průchodu prostředím pórovité látky, jelikož největší vliv na útlum mikrovlnného záření má volná voda. K výhodám této metody patří, že je nedestruktivní a umožňuje měření vlhkosti v celém objemu látky. *„Díky výrazné odlišnosti elektromagnetických vlastností vody a suchých pórovitých látek, se dosahuje vysoké citlivosti v měření. Mikrovlnný měřič vlhkosti se na straně vysílače skládá z generátoru mikrovlnného záření (Gunnovy diody) a na straně přijímače je přijímací anténa napojena na detekční diodu a ta je dále propojena s vyhodnocovacím voltmetrem.“* [10]. Jedná se o laboratorní zařízení, kterým se měří vlhkost sypkého materiálu (písku, jílu), ale které je těžko využitelné pro práce v terénu.

6.3.6 Chemické metody

Z chemických metod se uplatňuje především metoda karbidu vápníku. Metoda využívá chemické reakce vody v rozdrobeném vzorku měřeného materiálu s karbidem vápníku a určuje vlhkost zvážením produktu této reakce. Při reakci karbidu vápníku s vodou vzniká acetylen a reakce probíhá okamžitě. V důsledku tvoření acetylénu stoupá tlak v nádobě opatřené manometrem. Na stupnici manometru (kalibrováno pro každý materiál) se odečte hodnota vlhkosti. Tato metoda se užívá převážně k měření vlhkosti v sypkých materiálech jako jsou například písky, jíly, nebo usazeniny. [4]

6.4 Další průzkumy potřebné k návrhu sanace

6.4.1 Informace o podzáklaď a vlastnostech okolního terénu

Tento geologický a hydrogeologický průzkum je v jednoduchých případech možno provádět buď sondami v podlahách suterénů (přízemí), hlavně při obvodových zdech, anebo sondami v okolí budovy.

Pro účely zjištění příčin poruch z hlediska vlhkosti je možno provádět sondy kopané, výjimečně pomocí vrtů. Dále je vždy vhodné snažit se zjistit hladinu podzemní vody od České geologické služby – Geofondu.

Základní otázkou, na kterou by měl průzkum sond odpovědět je, zda složení půdy v této oblasti umožňuje shromažďování vody a zda bude trvalé nebo nárazové a za jakých podmínek k němu bude docházet. [4]

6.4.2 Průzkum salinity

Závady na zdivu a zejména na plochách jsou často viditelně způsobovány vysokou salinitou, tj. obsahem vodorozpustných solí ve zdivu. Stanovení skutečného obsahu solí se provádí na základě laboratorně odebíraných vzorků.

Ze stanovení druhu a množství vodorozpustných solí lze někdy určit i způsob migrace vody do zdiva (děšť, splašky, zatékání z chodníku, vztlínání mineralizované spodní vody apod.)



Pro stanovení obsahu solí ve zdivu existuje řada metod, které se liší pracností, přístrojovou náročností, přesností, požadavkem na velikost vzorku i cenou. Při chemické analýze vzorků se obvykle určují síranové, chloridové a dusičnanové anionty, kationty jsou stanovovány pouze výjimečně. Běžně používanými metodami jsou metody gravimetrické (anion se ve výluhu převede na nerozpustnou sůl a poté se její množství zváží), postupy využívající iontově selektivních elektrod nebo metody spektrální. Méně často jsou používány metody titrační. [11]

Analýza většího množství vzorků bývá finančně nákladná, je tedy vhodné využít všechny dostupné informace o původním využívání objektu. U památkově chráněných objektů je dobrým pramenem stavebně historický průzkum. Místa odběru je třeba volit tak, aby byly odebrané vzorky dostatečně reprezentativní. Nezbytné je odebrat vzorky v různých výškách a hloubkách, v exponovaných a méně exponovaných polohách. Míra zkoumání salinity závisí na typu průzkumu. Lze provést jen stěry solí z povrchů, což poslouží k dokumentaci druhu solí, nebo lze zdivo zkoumat s ohledem na předpokládanou technologii sanace, čištění fasád apod. Přesná metodika ovšem neexistuje. [11]

Orientačně lze určit rozsah zasolení i vizuálně podle vlhkostních map. Hranice zavlhčení však obvykle nekoresponduje s hranicí zasolení a koncentrace solí bývá ve zdivu vysoká ještě asi 0,5 až 1 m nad vlhkostní mapou. Také hodnocení obsahu solí je poněkud problematické, protože závisí nejen na hloubce odběru vzorku, ale i na druhu solí a rezistenci materiálu dané většinou jeho pórovitostí. Pro orientační posouzení lze použít směrnici WTA E-2-6-99 nebo návrh ČSN P 73 0610 Tab.1 (Tab. 3).

Tab. 3 Stupeň zatížení solemi dle ČSN P 73 0610 [8]

	Označení	Chloridy (%)	Dusičnany (%)	Sírany (%)
Nízký	N	< 0,075	< 0,1	< 0,5
Zvýšený	Z	0,075 až 0,20	0,1 až 0,25	0,5 až 2,0
Vysoký	V	0,20 až 0,50	0,25 až 0,50	2,0 až 5,0
Velmi vysoký	VV	> 0,50	> 0,50	> 5,0

6.4.3 Průzkumy archivní

Studium archivních materiálů se uplatňuje zejména u památkově chráněných budov a budov v památkovém prostředí. Z hlediska vlhkosti jsou zajímavé zejména doklady o různých fázích výstavby a dodatečných úpravách. Velmi často lze nalézt zprávy o prvních poruchách, které souvisely s užíváním objektu a návrhy pozdějších úprav a často lze nalézt i velmi důležité dokumenty majetkoprávního charakteru.

V rámci průzkumu by v žádném případě neměl chybět rozhovor projektanta s majitelem domu, jeho správcem nebo investorem. Tento rozhovor bývá nutným základním krokem při úvahách o způsobu odvlhčení. Při rozhovoru se stavebníkem by se projektant měl snažit získat co nejvíce odpovědí na následující otázky:

- Kdy byla budova postavena a co ví o původním využití – jak se liší od současného?
- Jaké plánuje využití prostoru přízemí, příp. suterénů?



- Bude se v souvislosti s novým využitím provádět celková rekonstrukce, tj. výměna podlah, poškozených omítek a eventuálně instalace větrání, klimatizace apod.?
- Plánuje stavebník vybudovat nové přístupy (schodiště), sklepní okna, nebo bude měnit dispozici? Jak dalece bude otevírat nové otvory v nosných zdech a je možno stavebními úpravami zasahovat do okolí budov (např. chodníky, dvorky...)?
- Jakým způsobem budou prostory vytápěny?
- Je stavebník ochoten upravit způsoby využití v závislosti na vlhkošních poměrech (často nevhodné využití např. sklepů na prodejny, sklady papírových prvků apod.)?
- Od kdy se vyskytují problémy s vlhkostí – vadí klasické vlhkošní mapy nebo také zavlhčování interiéru?
- Jsou projevy vlhkosti závislé na atmosférických podmínkách? S jakým zpožděním se (po vydatných deštích, nebo tání sněhu) úroveň vlhkosti zvýší, nebo jsou rozsahy poruch trvalé?



7 ZPŮSOBY SNÍŽENÍ VLHKOSTI KONSTRUKCÍ

Výsledky průzkumů a jejich zhodnocení analýzou jsou dostatečným podkladem pro volbu sanačního opatření. Téměř nikdy není pouze jedná správná možnost návrhu odstranění vlhkosti. Autor proto často vypracovává své návrhy alternativně. Často jsou to návrhy levnějších provizorních úprav a návrhy radikálního dlouhodobého řešení.

Odvlhčující opatření (sanační metody) lze z technologického hlediska provádění rozdělit na:

- metody založené na proudění vzduchu;
- metody vkládaných utěšňujících vrstev;
- metody chemické, nahrazující horizontální nebo vertikální plošnou hydroizolaci;
- metody stavební, včetně tzv. „podřezávání“;
- metody elektrofyzikální;
- sanační omítky.

V žádném případě nelze odstranění vysoké vlhkosti zdiva řešit pouze jednou úpravou, vždy se jedná o kombinaci úprav. Hlavními podklady pro výběr následujících metod byly české normy a směrnice WTA, které specifikují optimální materiály a technologie pro sanace.

7.1 Vzduchové izolační systémy

V dnešní době, pokud jde o výstavbu nových objektů, již vzduchové izolační systémy dávno pozbyly svého významu, neboť byly nahrazeny modernějšími materiály. Pokud se ale jedná o sanace vlhkého zdiva ve starších objektech, především pak historických, mají vzduchové izolační systémy stále své uplatnění.

Princip, který je znám přibližně 4500 let zůstává stále stejný. Jedná se o oddělení stavební konstrukce od zdroje vztlínající vody (přílehlé zeminy) pomocí větrané vzduchové mezery, která má zajištěn trvalý přívod a odvod vzduchu. Fyzikálně se vlastně jedná o zvětšení plochy, ze které může difundovat vodní pára do atmosféry. Proudění vzduchu v dutině může být řešeno jako **přirozené (gravitační), nebo nucené**.

Přirozené (gravitační) proudění vzduchu může být řešeno buď s dutinami s nasávacími i výdechovými otvory v exteriéru – proudění nastává v důsledku rychlosti proudění větru, anebo s dutinami s nasávacími otvory v interiéru a výdechovými v exteriéru – proudění nastává v důsledku rozdílu teplot venkovního a vnitřního vzduchu a v důsledku výškového rozdílu nasávacích a výdechových otvorů.

Nucené proudění vzduchu v dutině bývá zajištěno pomocí ventilátoru. Tento způsob je nutný použít tehdy, pokud by proudění vzduchu přirozenou cestou nefungovalo. Současně s ventilátorem může být také použit ohříváč vzduchu, který zajistí proudění teplého vzduchu v dutině, čímž se zvýší účinnost systému, ale za cenu vyšších provozních nákladů.



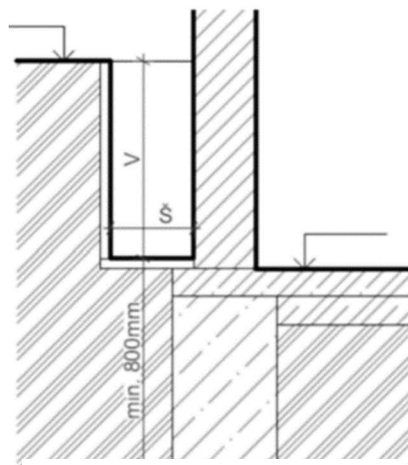
7.1.1 Vzduchové dutiny stěnové

Stěnové vzduchové dutiny mohou být provedeny v několika variantách. Dutiny se mohou nacházet na vnitřní i vnější straně obvodových stěn. Na vnější straně obvodových stěn pak dále rozlišujeme stěny, které se nachází pod úrovní terénu (zakryté, nebo otevřené – tzv. anglické dvorky), nebo nad úrovní terénu (provětrávané soklové dutiny).

7.1.1.1 Stěnové dutiny pod úrovní terénu – vnější strana zdiva

Otevřený systém

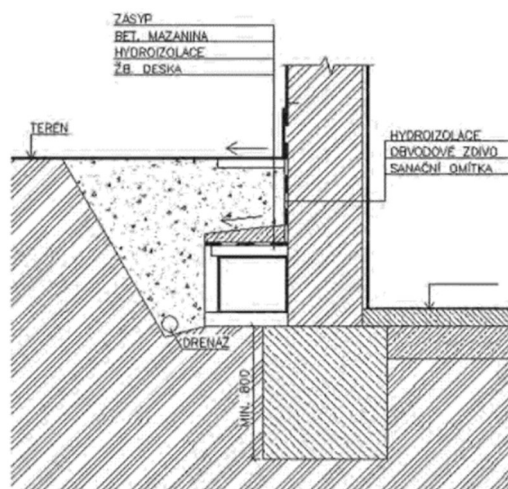
Tzv. anglický dvorek je systém, který je tvořen opěrnou zdí, která je odsazena od vnějšího líce obvodové stěny. Opěrná zeď může být řešena jako samonosná, nebo se může po určitých vzdálenostech opírat o obvodovou zeď objektu. Opěrky, které jsou v kontaktu s obvodovým zdivem se od něj musí odizolovat (např. asfaltovou povlakovou izolací). Tloušťka opěrné zdi je závislá na konkrétním statickém zatížení a pohybuje se zpravidla kolem 150 mm – 300 mm. Dno se provádí vždy ve spádu směrem od budovy a musí být odvedeno buď do kanalizace anebo v případě užších dutin pouze trubkami, které prostupují zídkou a jsou napojeny do trativodu. [4]



Obr. 18 Anglický dvorek [4]

Zakrytý systém

Zakrytý systém je vytvořen překrytím prostoru vzduchové dutiny. Při realizaci je nutné obnažené zdivo řádně očistit, omítku osekát a spáry vyškrábat do hloubky min. 20 mm a nechat takto obnažené po co nejdelší dobu před finálním zakrytím. K odvádění vzduchu ze vzduchové dutiny je vhodné využít stávajících nepoužívaných komínových průduchů. Dno vzduchové dutiny je potřeba vždy vyspádovat směrem od objektu a vodu odvést ke sběrné jímce nebo kanalizační vpusti. [4]



Obr. 19 Příklad zakrytého systému v kombinaci s hydroizolačním povlakem [4]

Izolaci stěn dutiny provedeme v souladu ČSN P 73 0600 [12] a ČSN P 73 0606 [13]. Je možno použít jak asfaltových pásů, tak také polymerních fólií, popřípadě i vodotěsných omítek, stěrek či nátěrů.

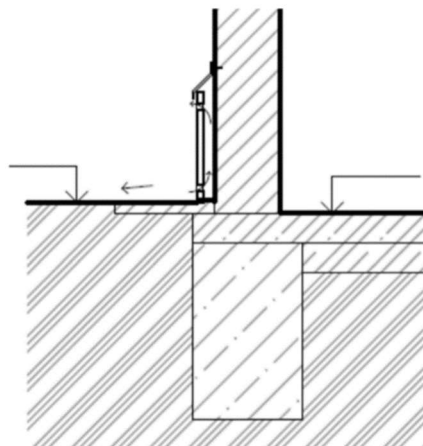
Pokud není možné strop dutiny umístit v úrovni terénu, nebo pokud výška zavlhčení je velmi nízká, může se provést zastropení v potřebné hloubce pod terénem. Na zbývající část vnějšího povrchu obvodového zdiva se provede hydroizolace proti působení zemní vlhkosti.



Při realizaci vzduchových dutin pod úrovní terénu je nutno vzít v potaz riziko, související s odkopáním obvodových stěn. Ty mohou být vlivem zvýšené vlhkosti velmi oslabené a v případě jejich obnažení může hrozit i vážné riziko havárie zdi. Určitou soudržnost totiž zajišťuje i přilehlá zemina. V rámci zpracování projektu odvlhčení zdiva je třeba ověřit také jeho kvalitu z hlediska únosnosti. [4]

7.1.1.2 Stěnové dutiny nad úrovní terénu (soklové dutiny) – vnější strana zdiva

Princip provětrávaného soklu spočívá ve vytvoření vzduchové dutiny na vnějším líci obvodového zdiva. V soklu se vytvoří systém nasávacích a výdechových otvorů, které zajišťují potřebnou cirkulaci vzduchu uvnitř vzduchové dutiny. Šířka vzduchové dutiny by v tomto případě měla být min. 50 mm. Materiál soklové části by měl být z materiálů odolnějších proti povětrnostním podmínkám, nebo by měli být minimálně opatřeny povrchovou hydrofobní úpravou. Provětrávané sokly mohou být řešeny jako zděné, zavěšené anebo z profilovaných fólií z plastických hmot. [4]



Obr. 20 Princip provětrávaného soklu nad úrovní terénu [4]

Zděné sokly

Stávající sokl, který je obvykle ve špatném stavu se odseká a osekaná část zdiva se zbaví nečistot a spáry se vyškrábou do hloubky min. 20 mm. Pokud to únosnost zdiva dovolí, ponechají se takto vyškrábané spáry nadále volné. Poté se provede nová soklová přízdívka, která se vyzdí na nově vloženou vodorovnou povlakovou hydroizolaci. Je třeba důkladně vyřešit ukončení soklu v její horní části (např. oplechováním, zešíkmením apod.). Vždy je třeba provést také hydrofobní povrchovou úpravu soklu. [4]

Zavěšené sokly

Stávající sokl se rovněž odseká a osekaná část zdiva se zbaví nečistot a spáry se vyškrábou do hloubky min. 20 mm. Pokud to únosnost zdiva dovolí, ponechají se takto vyškrábané spáry nadále volné a na zdivo se zavěsí soklová deska tak, že nahoře i dole zůstávají štěrbiny, které umožní proudění vzduchu uvnitř dutiny. Desky jsou obvykle prováděny z odolných přírodních materiálů (kámen, apod.), nebo z ocelových, hliníkových či jiných plechů. Důležité je, aby materiál soklových desek měl minimální pórovitost a s tím spojenou minimální nasákavost a maximální mrazuvzdornost. Všechny hmoždinky a kotvy, kterými jsou desky připevněny ke zdivu musejí být provedeny z korozivzdorných materiálů. [4]

Sokly z profilovaných fólií z plastických hmot

Ke stávajícímu vlhkému zdivu se pomocí vrutů a hmoždinek připevní profilovaná fólie z plastické hmoty, na kterou se provede obklad. V horní části se sokl ukončí poplastovanou lištou, ukotvenou vruty a hmoždinkami ke zdivu. [4]



7.1.1.3 Stěnové dutiny na vnitřní straně zdiva

Stěnové dutiny situované na vnitřní straně vlhké zdi mohou být z výškového hlediska umístěny buď pod úrovní podlahy, nebo nad úrovní podlahy.

Stěnové dutiny situované **pod úrovní podlahy** jsou principiálně stejné jako tytéž dutiny na vnější straně zdiva. Naproti tomu stěnové dutiny situované **nad úrovní podlahy** mohou být řešeny jako **předsazené stěny**, nebo **vnitřní obklady**.

Předsazené stěny

Provádějí se například jako cihelná příčka vyzděná na celou výšku místnosti. Velmi důležitá je zde správná volba nasávacích a výdechových otvorů, protože jimi lze výrazně ovlivnit klimatické poměry v místnosti.

Vnitřní obklady

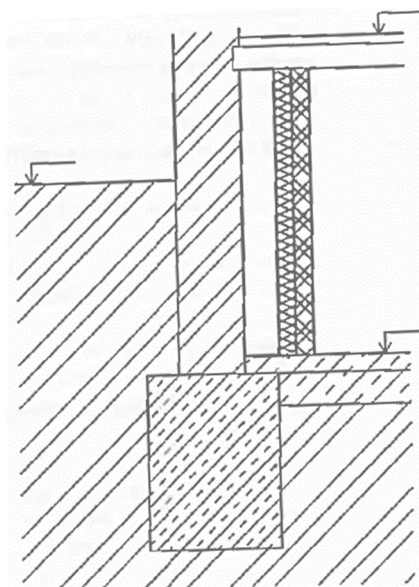
Jsou realizovány např. ze dřeva, sádkokartonu apod. Obkladový materiál musí být odolný proti vlhkosti. Kotvicí konstrukci (zpravidla lišty) je nutné uspořádat tak, aby bylo umožněno proudění vzduchu. U obkladů, které nedosahují na celou výšku místnosti nebo nemají možnost odvětrání do exteriéru, je možno k nasávání vzduchu použít větší množství menších otvorů, nebo štěrby nad podlahou. V horní části obkladu je možno provést ukončení pomocí uzavírací lišty. Pro uchycení kotevních lišt i vlastního obkladu musejí být použity nerezavějící materiály.

A) Neodvětrávané vzduchové dutiny

Pro sanaci vlhkosti vzlínající ze zemního prostředí je tento způsob zcela nevhodný, protože v dutině může docházet k postupnému zvyšování vlhkosti, případně ke kumulaci vody, která pak proniká do předsazené stěny a do sanovaného zdiva. **Pro řešení vlhkosti kondenzované na povrchu stěny v interiéru je toto řešení naopak vhodné.**

Pokud se jedná o vzlínající a kondenzovanou vlhkost současně, je možné tento způsob použít, avšak pouze pro odstranění kondenzace vodní páry. Vzlínající vlhkost musí být sanována jiným způsobem (mechanicky, chemicky, elektroosmoticky).

Předsazenou stěnu je třeba v určitých případech také tepelně izolovat. Nutnost návrhu tepelné izolace vplyne z tepelně technického posouzení. [4]

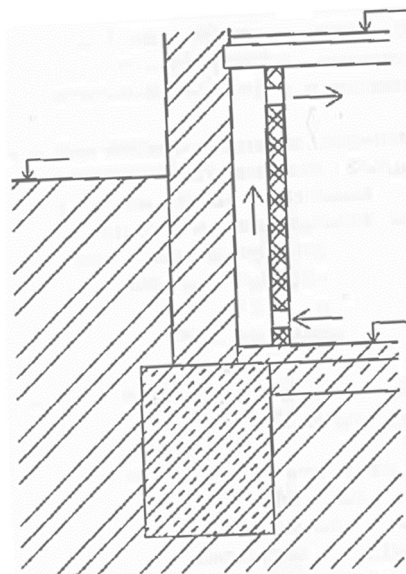


Obr. 21 Neodvětrávaná vzduchová dutina [4]



B) Vzduchové dutiny odvětrávané s přívodem i odvodem vzduchu do interiéru

Zde je nevýhodou, že zavlhlý vzduch se přivádí zpět do místnosti. Proto je v tomto případě nutné řádně posoudit mikroklima odvětrávané vzduchové dutiny – vzniká zde větší riziko vzniku plísní oproti stavu před sanací a následně nebezpečí přenosu plísňových zplodin do interiéru. Je tedy vždy nutné posoudit mikroklima interiéru z hlediska jeho využívání. **Tento způsob je tedy použitelný pouze za určitých vhodných podmínek.** Na sanované zdi se oseká omítka do výše 800 mm nad úroveň zvýšeného zavlhčení a vyškrábou se spáry do hloubky 20 mm. Pokud to soudržnost zbývající malty a únosnost zdiva dovoluje, je vhodné ponechat spáry ve zdivu proškrábané, aby byla na stěně vytvořena co největší odpařovací plocha. [4]



Návrh dutiny musí být doložen tepelně technickým posouzením, které musí obsahovat:

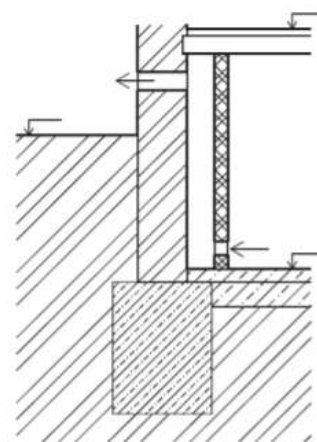
- posouzení teplotního faktoru vnitřního povrchu v rizikových místech (v dolním a horním koutu);
- posouzení proudění vzduchu a kondenzace vodní páry ve vzduchové mezeře;
- posouzení kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodové (sanované) zdi.

Obr. 22 Přívod vzduchu do interiéru, odvod vzduchu do interiéru [4]

Po tomto posouzení je pak možno na základě analýzy navrhnout jak optimální tloušťku vzduchové mezery, tak také větrací otvory (jejich počet a plochu) tak, aby bylo zabráněno výskytu kondenzace.

C) Vzduchové dutiny odvětrávané s přívodem vzduchu v interiéru a s odvodem vzduchu do exteriéru

Tímto způsobem se sníží obsah vlhkosti v interiéru. Problém je to, že v zimním období dochází ke zvýšeným tepelným ztrátám. Je tedy třeba na nasávací otvory umístit uzavírací klapky, aby bylo možno tepelné ztráty alespoň částečně omezit. Pokud se však klapky nechají uzavřeny po delší dobu, systém pracuje nespolehlivě. V letních měsících, pokud je teplota venkovního vzduchu vyšší než teplota vnitřního vzduchu, dochází k opačnému proudění vzduchu, tedy z exteriéru do interiéru. Toto řešení je použitelné rovněž za určitých vhodných podmínek. Na sanované zdi se oseká omítka do výše 800 mm nad úroveň zvýšeného zavlhčení a vyškrábou se spáry do hloubky 20 mm. Pokud to soudržnost zbývající malty a únosnost zdiva dovoluje, je vhodné ponechat spáry ve zdivu proškrábané, aby byla na stěně vytvořena co největší odpařovací plocha. [4]



Obr. 23 Přívod vzduchu z interiéru, odvod do exteriéru [4]



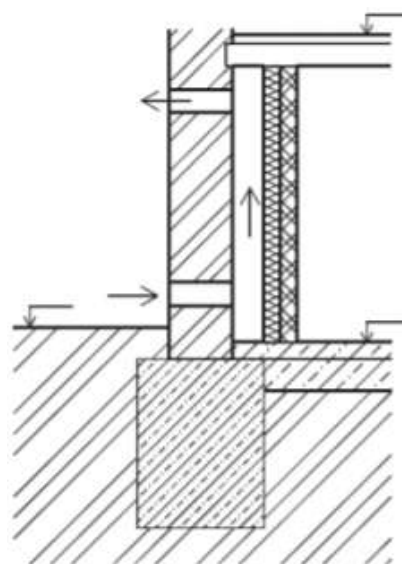
Návrh dutiny musí být doložen tepelně technickým posouzením, které je shodné s posouzením při návrhu vzduchové dutiny odvětrané s přívodem i odvodem vzduchu do interiéru (viz kap. **B) Vzduchové dutiny odvětrávané s přívodem i odvodem vzduchu do interiéru**). Jedná se o:

- posouzení teplotního faktoru vnitřního povrchu v rizikových místech (v dolním a horním koutu);
- posouzení proudění vzduchu a kondenzace vodní páry ve vzduchové mezeře;
- posouzení kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodové (sanované) zdi.

D) Vzduchové dutiny odvětrávané s přívodem i odvodem vzduchu do exteriéru

Při této variantě je nutné počítat s nově vzniklými tepelnými ztrátami, způsobenými ochlazením vnitřní předsazené stěny proudícím venkovním vzduchem. Tepelné ztráty budou nabývat menších hodnot než u dutiny s nasáváním vzduchu z interiéru, přesto však je nutné vnitřní předsazenou stěnu tepelně odizolovat a to včetně navazujících konstrukcí. Vzhledem k tomu, že mikroklima v interiéru není v tomto případě ovlivněno, **je tento způsob řešení vhodný.**

Na sanované zdi se oseká omítka do výše 800 mm nad úroveň zvýšeného zavlhčení a vyškrábou se spáry do hloubky 20 mm. Pokud to soudržnost zbývající malty a únosnost zdiva dovoluje, je vhodné ponechat spáry ve zdivu proškrábané, aby byla na stěně vytvořena co největší odpařovací plocha. [4]



Návrh dutiny musí být doložen tepelně technickým posouzením, které má tyto části:

Obr. 24 Přívod i odvod vzduchu z exteriéru [4]

- posouzení hodnoty součinitele prostupu tepla U [W/m^2K] vnitřní stěny;
- posouzení teplotního faktoru vnitřního povrchu v rizikových místech (v dolním a horním koutu);
- posouzení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce předsazené vnitřní stěny;
- posouzení proudění vzduchu a kondenzace vodní páry ve vzduchové mezeře;
- posouzení kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodové (sanované) zdi.

Dno i strop vzduchové dutiny je vhodné izolovat (např. pomocí extrudovaného polystyrenu, nebo pomocí expandovaného polystyrenu typu Perimetr). Tím se sníží negativní vliv venkovního vzduchu na základovou spáru odvlhčované zdi v zimním období. Tepelná izolace zde umístěná má výrazný vliv na průběhy teplot v uvedených místech. Rovněž je vhodné tepelně izolovat část odvlhčované zdi v dutině [4]



7.1.2 Konstrukční zásady pro návrh stěnových vzduchových dutin

Sanace vlhkého zdiva pomocí vzduchových dutin se navrhuje při hmotnostní vlhkosti cihelného zdiva $w_m < 10\%$. To proto, že jejich účinnost je poměrně nízká. Pomocí vzduchových dutin je možno snížit hmotnostní vlhkost ve zdivu maximálně o 2-3 %. [4]

Návrh rozměrů dutiny [4]

Pro návrh rozměrů vzduchové dutiny a pro rozhodnutí, zda bude dutina navržena jen z jedné strany, nebo po obou stranách vlhké zdi, je v první řadě směrodatná tloušťka zavlhělého zdiva. Dále pak dispoziční a konstrukční možnosti na vnitřní či vnější straně vlhké zdi.

Po správnou funkci dutiny je nutné, aby výška vzduchové dutiny byla větší než tloušťka odvlhčované zdi. Tedy musí platit podmínka:

$$v \geq d \text{ [m]} \quad (14)$$

Lépe však:

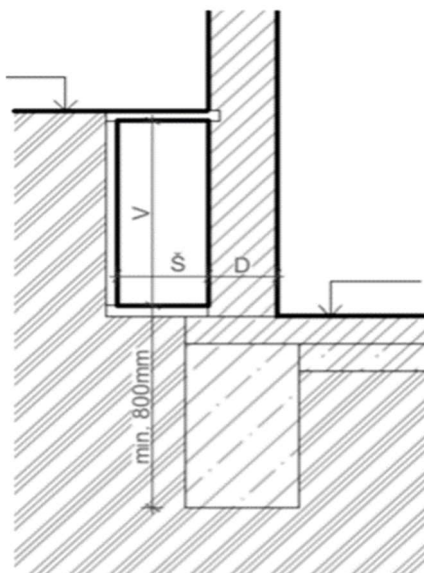
$$v \geq (1,5 \div 2,0) * d \text{ [m]} \quad (15)$$

Výškovou úroveň dutiny je nutno vždy navrhnout tak, aby byla dodržena nezámrazná hloubka základové spáry, která v našich klimatických podmínkách činí 800 mm. V případě tepelné izolace dna dutiny, resp. stěny a dna, je možno tuto hloubku snížit.

Pokud jde o šířku dutiny \underline{s} [m] u dutiny větrané přirozeným prouděním vzduchu, je třeba ji navrhovat vždy s ohledem na výšku dutiny \underline{v} [m] tak, aby tlakové ztráty byly menší než tlakový spád, což se ověří tepelně technickým výpočtem. V případě, že tlakové ztráty v dutině budou větší než tlakový spád, je nutno zvětšit její šířku tak, aby bylo zajištěno proudění vzduchu přirozeným způsobem. Tedy aby tlakové ztráty byly nižší než tlakový spád.

V případě že výše uvedená podmínka nelze splnit, navrhne se nucené větrání. Při nuceném větrání se dále dopočítává vhodná rychlost proudění vzduchu, velikost tlakových ztrát a objemový průtok. Na základě těchto hodnot se poté navrhne vhodný typ ventilátoru s odpovídajícím výkonem.

Nelze-li splnit výše uvedené podmínky pro návrh minimální výšky vzduchové dutiny, pak je nutné provést vzduchové dutiny z obou stran vlhké zdi. Pokud nelze provést vzduchové dutiny z obou stran, pak je možno provést sanační omítku, nebo větraný sokl či obklad, případně uvážit volbu jiné vhodné sanační metody.

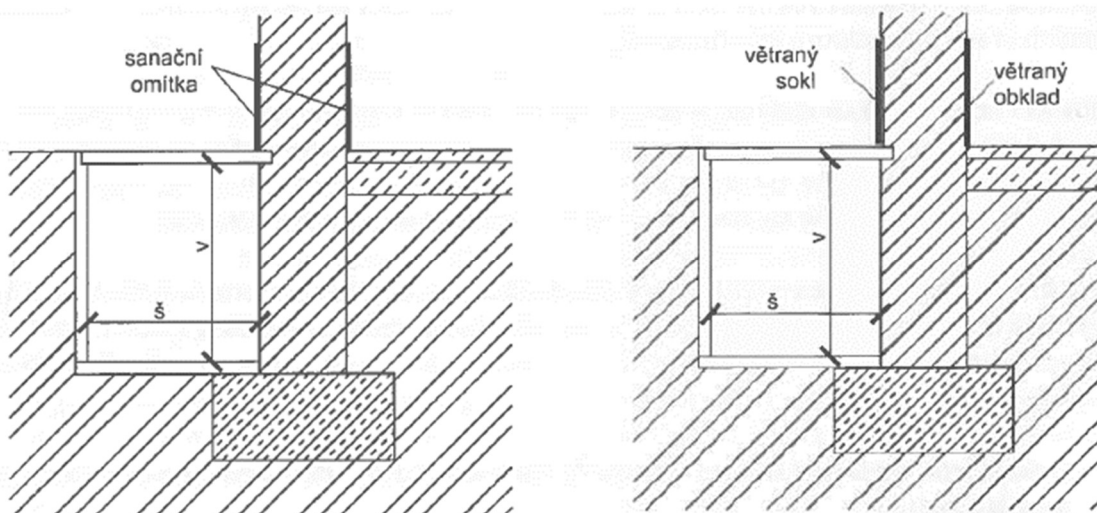


Obr. 25 Schéma vzduchové dutiny na vnější straně zdi [4]



Úpravy části zdi nad terénem, resp. podlahou v interiéru je možno různým způsobem kombinovat. Druhy kombinací můžou být například:

- sanační omítka na vnější straně i vnitřní straně;
- větraný sokl na vnější straně, sanační omítka na vnitřní straně;
- větraný sokl na vnější straně, větraný obklad na vnitřní straně;
- sanační omítka na vnější straně, větraný obklad na vnitřní straně.



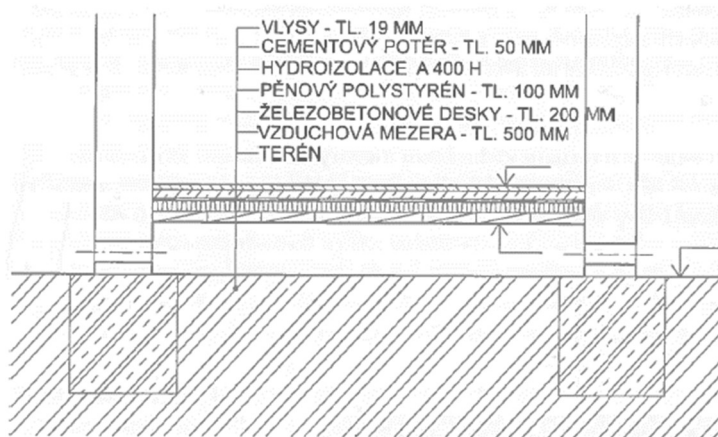
Obr. 26 Kombinace úpravy povrchů zdiva při nedostatečné výšce vzduchové dutiny [4]

7.1.3 Podlahové vzduchové dutiny

V souvislosti s prováděním sanací vlhkého zdiva se v České republice běžně užívá větraných vzduchových mezer pod podlahami, které jsou v kontaktu s podložím. Systém podlahových vzduchových dutin se hojně používá například u objektů zasažených povodňovou vlnou.

Vzduchová mezera vytvořená zastropením

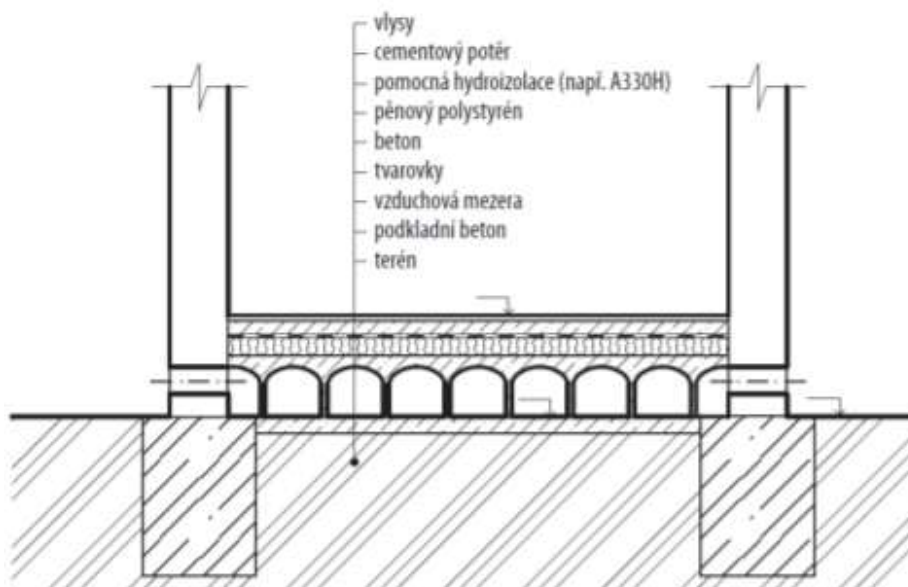
Zastropení vzduchové mezery se provede pomocí vodorovné nosné konstrukce, která může být vytvořena například železobetonovými stropními deskami, dřevěnými trámy a prkny (zde je nutné ochrana proti biologickým škůdcům), ocelovými plechy atd. Tento způsob je vhodný zejména v případě historických objektů a u objektů, které jsou na seznamu kulturních památek České republiky. Způsob zastropení musí respektovat případný památkový charakter objektu. Příklad řešení dutiny tímto způsobem je uveden na Obr. 27. [4]



Obr. 27 Příklad vodorovné vzduchové mezery pod podlahou, vytvořené zastropením [4]

Vzduchová mezera vytvořená pomocí speciálních tvarovek

Způsob řešení podlahové dutiny pomocí speciálních tvarovek spočívá v provedení podkladní betonové vrstvy, popřípadě pouze zhuťněného štěrkopískového podsypu. Na podkladní vrstvu se položí tvarovky, které se pak zalijí betonovou zálivkou, na kterou se posléze provedou další vrstvy podlahy. Použití tohoto způsobu řešení vzduchové mezery u památkově chráněných objektů je ale problematické. [4]



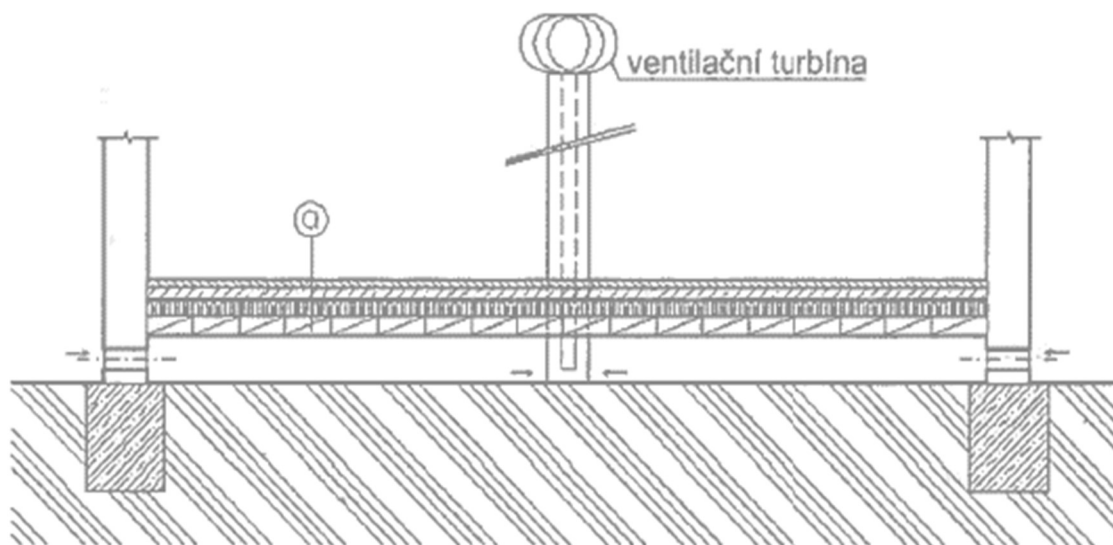
Obr. 28 Příklad vzduchové mezery pod podlahou, vytvořené pomocí speciálních tvarovek [4]

Při provádění vodorovných vzduchových mezer pod podlahou je vhodné – pokud se okraj vlhkostní mapy ve zdivu nachází nad úrovní nášlapné vrstvy nové podlahy, nebo v její konstrukci – oddělit konstrukci nové podlahy od stěny dělicí spárou o tl. 10 mm, která se překryje podlahovou lištou.

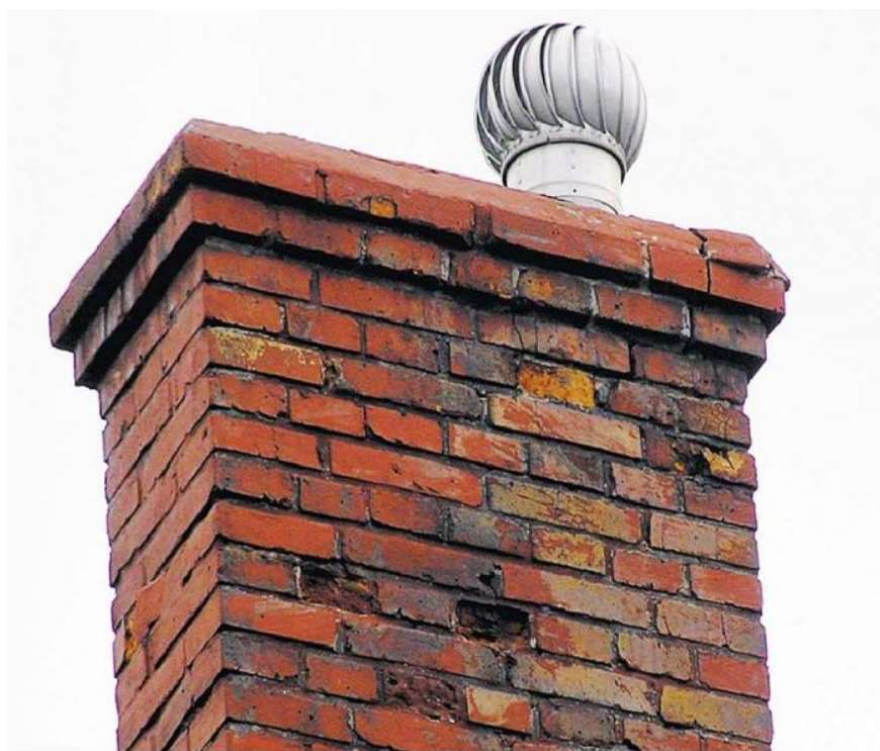
Pokud je to možné, provedeme napojení vzduchové mezery na stávající nepoužívaný komínový průduch (viz. Obr. 29). Pro zlepšení funkce (zvýšení rychlosti proudění



vzduchu) osadíme v místě komínové hlavy vhodný typ ventilační turbíny (např. typ Lomanco, Obr. 30).



Obr. 29 Příklad vzduchové mezery pod podlahou, s napojením na nepoužívaný komínový průduch a s ventilační turbínou [4]



Obr. 30 Ventilační turbína typu Lomanco osazená na komínové hlavě [14]



Návrh výšky vzduchové mezery [4]

Výška vzduchové mezery závisí u obou uvedených způsobů na:

- vzdálenosti nasávacích a výdechových otvorů;
- na osově vzdálenosti a celkové ploše nasávacích a výdechových otvorů.

Nutnou podmínkou je zajištění dostatečného proudění vzduchu tak, aby nedocházelo ke kondenzaci vodní páry uvnitř vzduchové mezery. V případě vzduchové mezery řešené pomocí tvarovek je třeba respektovat výšky, ve kterých se tyto tvarovky vyrábějí. Návrhy se obvykle provádějí v empirické rovině, aby však byla zajištěna správná funkce dutin, je třeba, aby návrh výšky vzduchové mezery a návrh plochy a polohy nasávacích a výdechových otvorů byl doložen tepelně technickým výpočtem.

V obou uvedených případech dojde k určitému snížení světlé výšky příslušné místnosti. Pokud by toto bylo na závadu, pak bude třeba odstranit stávající skladbu podlahy v celé tloušťce a provést prohloubení na takovou úroveň, aby byla zajištěna potřebná světlá výška. Mezi dolním povrchem vzduchové mezery a úrovní základové spáry musí být dodržena nezámrazná hloubka.

Pro správný návrh vzduchové mezery musí být provedena ještě tepelně technická posouzení, které sestává z:

- posouzení hodnoty součinitele prostupu tepla U [W/m^2K] konstrukce podlahy nad vzduchovou mezerou;
- posouzení teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{rsi} [-] v dolních koutech místností a v rizikových detailech (venkovní stěna, vnitřní stěna sousedící s nevytápěnou místností apod.);
- posouzení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce podlahy;
- posouzení poklesu dotykové teploty podlahy;
- posouzení proudění vzduchu a kondenzace vodní páry ve vzduchové vrstvě.

Konstrukční zásady

Pro předběžný návrh plochy nasávacích a výdechových otvorů S [m^2] je možno použít následujícího vztahu:

$$S = \frac{1}{100} * A \quad (16)$$

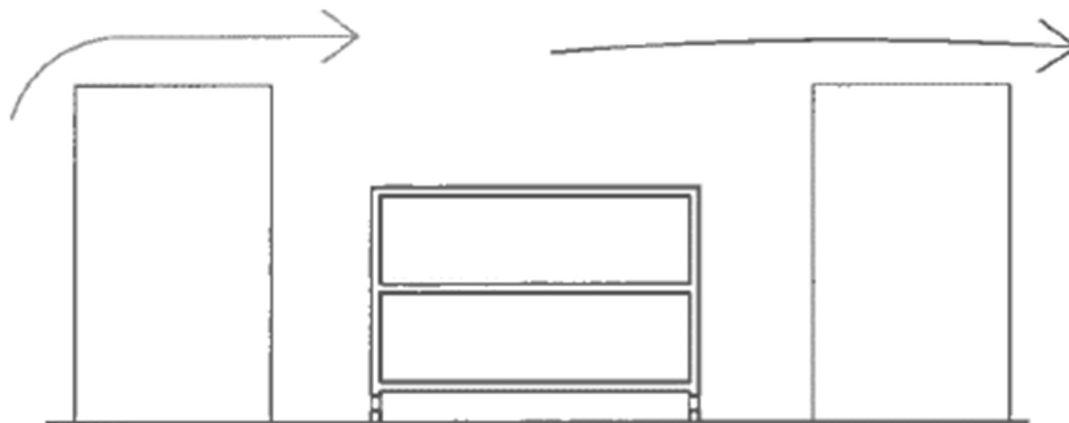
kde: A – plocha větrané podlahy [m^2]

Minimální tloušťka vzduchové mezery je 100 mm. Proudění vzduchu v mezeře nemají bránit žádné překážky. Vzdálenost příváděcích a odváděcích otvorů by neměla přesáhnout 18 m.

Nasávací a výdechové otvory musí být chráněny proti vnikání nečistot, hmyzu, hlodavců, hnaného deště a sněhu apod. Musí být opatřeny mřížkou nebo síťkou, popřípadě také protidešťovou žaluzií. Spodní plochy nasávacích a výdechových otvorů je vhodné navrhnout ve sklonu min. 3 % do vnějšího prostředí. [4]



O správné funkci podlahové vzduchové mezery rozhoduje nejen správný návrh a provedení, ale také okolní zástavba. I při správním návrhu mohou mít vzduchové dutiny negativní vliv, pokud se bude vzduchová dutina nacházet v nesprávné situaci vzhledem k ostatním objektům.



Obr. 31 Příklad nevhodně umístěného objektu z hlediska aplikace podlahové vzduchové dutiny [4]

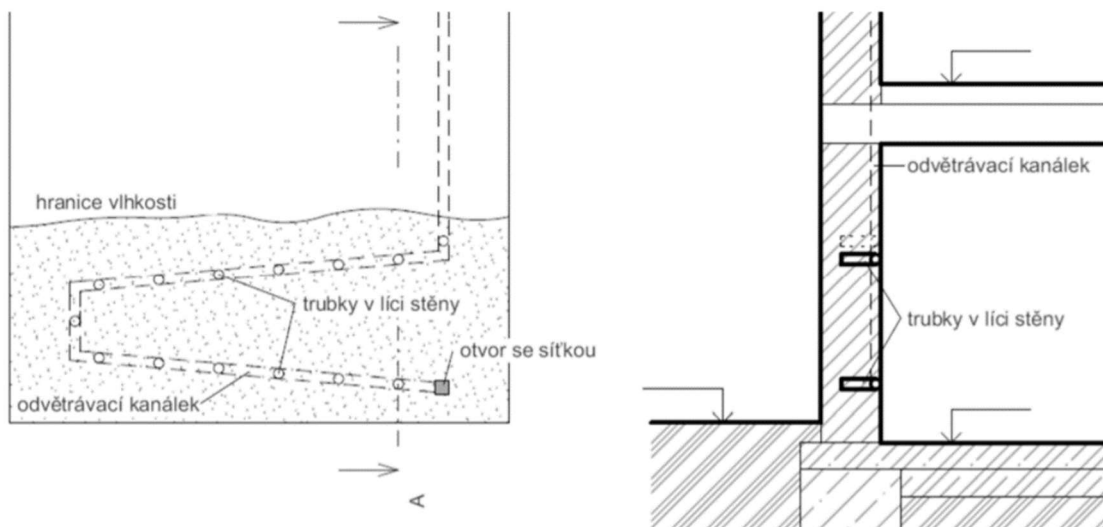
7.1.4 Ostatní vzduchové systémy

V následujících dvou kapitolách (kanálkový systém a Knapenovy kanálky) budou rozebrány metody, která se ovšem v České republice netěší veliké oblibě. Je to především proto, že v našich klimatických podmínkách je jejich účinnost velmi nízká a v současné době se již téměř nenavrhují.

7.1.4.1 Kanálkový systém

Zde se zdivo vysušuje řadami vodorovných děr, které jsou zaústěny do lomeného kanálku umístěného v líci zdi. Vzduch proudící kanálkem odvádí z děr vodní páru, která se do nich ze zdiva vypařuje. Kanálek začíná v dolní části vlhké zdi, asi 200 mm nad podlahou, pak mírně stoupá k druhému okraji stěny, zde se mění směr nahoru a ve vzdálenosti 300–600 mm (podle výškové úrovně okraje vlhkostní mapy ve zdivu) se opět lomí a směřuje s menším stoupáním k prvnímu okraji stěny. Po provedení dvou nebo tří řad děr bývá kanálek zalomen směrem vzhůru a vyústěn ven. Kanálky v líci zdiva se prováděly zpravidla z drenážních trubek.

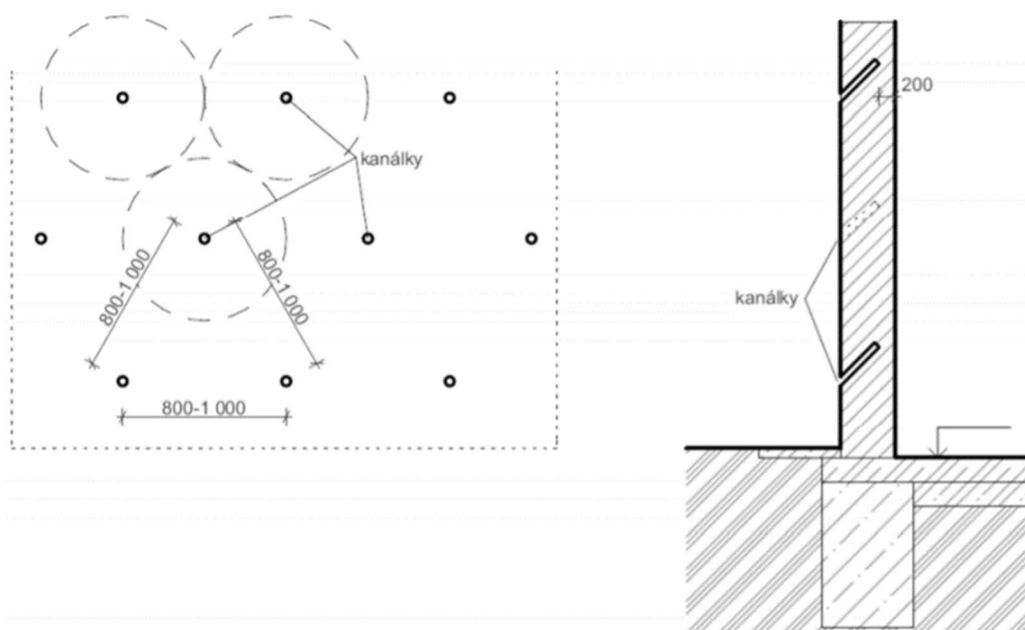
Jak již bylo uvedeno, praxe ovšem ukázala velmi nízkou účinnost těchto systémů. Problematické je rovněž snížení součinitele prostupu tepla zdiva v důsledku provedených děr, které může být příčinou nízkých povrchových teplot na povrchu stěn i v interiéru v místech kanálek a tím také kondenzace vodní páry. Navíc zde dochází ke znehodnocení pohledů na sanované zdi. [4]



Obr. 32 Příklad řešení kanálového způsobu [4]

7.1.4.2 Knapenovy kanálky

System je tvořen šikmými kanálky situovanými na vnější straně obvodové zdi v osových vzdálenostech přibližně 800–1000 mm (Obr. 33). Kanálky zasahují přibližně do 2/3 tloušťky zdi. Sklon kanálků bývá v rozmezí 10–15°. Kanálky se vytvářejí tak, že do vysekaného otvoru se osadí trubky z porézního materiálu (např. drenážní trubky o průměru 50 nebo 65 mm), čímž se zamezí jejich postupnému zanášení, navíc jsou zvenku opatřeny sítkou. Podle výšky vlhkosti se zhotovovaly v jedné, dvou až třech řadách nad sebou, kde byly navzájem prostřídány. To proto, aby jejich akční okruhy co nejlépe zaplnily odpařovací plochu zdi. Teoretický princip metody spočívá v odpařování vlhkosti ze zdiva do kanálků, odkud se odvětrává do vnějšího prostředí. Do kanálků vstupuje vzduch a nasycuje se vodní párou, čímž se snižuje jeho teplota a zvyšuje jeho hmotnost. Tím by teoreticky mělo docházet uvnitř kanálků k přirozené cirkulaci vzduchu – vlhký vzduch by měl klesat dolů směrem k otvorům kanálků, přičemž vytéká z kanálků do vnějšího prostředí a je nahrazován vzduchem z vnějšího prostředí, který má vyšší teplotu a menší obsah vodní páry. Tento cyklus by se měl neustále opakovat a tím by mělo docházet k vysušování zdiva. Rychlost cirkulace závisí na teplotě a vlhkosti venkovního vzduchu a na vlhkosti zdiva. Cirkulace ustává v okamžiku, kdy vlhkost venkovního vzduchu je stejná jako vlhkost v kanálku. Často zde však dochází k opačnému účinku, kdy na chladném povrchu kanálků kondenzuje voda z teplého a vlhkého vzduchu, čímž dochází k dalšímu přísunu vlhkosti do zdiva. K tomuto procesu dochází zpravidla v letních měsících, kdy teplota venkovního vzduchu často bývá vyšší, než teplota zdiva a vzduch má vysokou měrnou i relativní vlhkost. Naopak v zimním období, kdy venkovní vzduch má nižší teplotu než obvodová zeď a nízkou měrnou vlhkost, by měla být účinnost této metody teoreticky dobrá. [4]



Obr. 33 Knapenovy kanálky [4]

V Německu byl svého času Knapenův způsob zdokonalen tím, že se ve zdi provedly dva uvnitř spojené otvory ležatého V a tím se umožnila cirkulace vzduchu, který v závislosti na teplotě proudí buďto zdola nahoru, nebo opačně.

7.1.4.3 Použití profilovaných fólií

Provětrávaná vzduchová mezera je zde vytvořena pomocí profilované fólie z plastických hmot. Profilované fólie je možné použít jak v exteriéru, tak v interiéru. Při použití v exteriéru se fólie pro zamezení vlhkosti kombinují s některou z mechanických nebo chemických metod. Při použití v interiéru, nabízí tato metoda rychlé a ekonomicky únosné řešení pro užívání zavlhklých prostor. Pokud od výrobce má fólie nosnou mřížku, lze na ni aplikovat všechny druhy omítek. Případně lze na ni provést obklad sádrokartonem, dřevem nebo jiným obkladem. U podlahy a stropu musí však zůstat vždy mezera umožňující provětrávání vzduchové dutiny. Nevýhodou je, že v případě nedostatečného provětrávání může docházet v dutině ke tvorbě plísní a následnému roznášení jejich spor do interiéru. [4]



Obr. 34 Ukázka nopové fólie [15]



Podmínkou pro zajištění proudění vzduchu je existence nasávacích a výdechových otvorů. Přesný výpočet proudění vzduchu však ještě neexistuje. Kupříkladu k zajištění proudění vzduchu velkou délkou fólie a malými nopy spíše nebude k proudění docházet. V případě umístění profilované fólie v exteriéru pod úroveň terénu nebude k proudění vzduchu vůbec docházet. Vodní pára zde bude odcházet pouze v důsledku expanze.

7.1.4.4 Provětrávané drenáže

Provětrávaný drenážní systém může být umístěn:

- na vnější a vnitřní straně obvodových zdí;
- v podloží pod budovou.

Provětrávaný drenážní systém, umístěný na vnější nebo vnitřní straně obvodových zdí

Princip systému je takový, že drenážní hadice, které jsou umístěny na vnější a vnitřní straně obvodových zdí jsou napojeny skrze nasávací a výdechové otvory na venkovní ovzduší, čímž je zajištěno proudění vzduchu v systému, které zpravidla bývá realizováno jako přirozené.

Účinnost tohoto systému se z různých zdrojů liší, avšak nikde se neuvádí účinnost nijak vysoká. S ohledem na skutečnosti, že zde nedochází k oddělení odvlhčované zdi od vlhkého prostředí, že cirkulace vzduchu je zde řešena přirozeným způsobem a na skutečnosti uvedené níže, je nízká účinnost těchto systémů poněkud pochopitelná. Navíc zde může dojít k výskytu některých nežádoucích negativních jevů jako například:

- nebezpečí promrzání základové půdy;
- při chybném návrhu drenážního systému může být voda ke konstrukcím přiváděna;
- na podložích, která jsou tvořena soudržnými zeminami (zejména jílovitými) může dojít v důsledku jejich vysychání k objemovým změnám, které mohou mít za následek vznik statických poruch (trhlin) v odvlhčovaných stěnách;
- vzhledem k tomu, že proudění vzduchu zde bývá pouze přirozené, může na územích s výskytem radonu dojít k takové situaci, že v případě umístění byť i jednoho nasávacího otvoru v interiéru, systém napomáhá přivádění radonu dovnitř objektu;
- na územích s výskytem nekontrolovatelného výstupu důlního plynu, který obsahuje metan, může dojít k jeho výbuchu.

Provětrávaný drenážní systém umístěný v podloží pod objektem

Původně se tento způsob využíval pro snižování koncentrace radonu v podloží objektu. Při ověřování jejich dalších účinků bylo ovšem zjištěno, že jsou schopny také výrazně snížit vlhkost stěn. Nejlepší vliv na snížení vlhkosti ve stěnách, má dobře odvětraná (podtlakově, pomocí ventilátoru) drenážní vrstva s vloženými perforovanými drenážními hadicemi. Účinnost a rychlost odvlhčování zdiva je dán, kromě jiného, také výkonem ventilátoru. Zde je však nevýhodou závislost na dodávce elektrické energie a na lidském faktoru. [4]



Ovšem i u tohoto systému může dojít snadno k negativním nežádoucím jevům jak například:

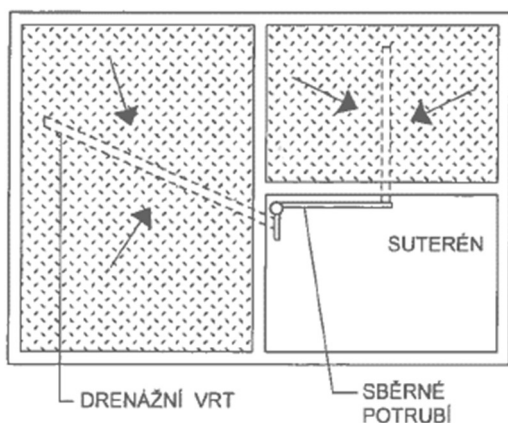
- ochlazování podlah a zvýšení tepelných ztrát v zimním období;
- nebezpečí promrzání základové půdy;
- na podložích, která jsou tvořena soudržnými zeminami (zejména jílovitými) může dojít v důsledku jejich vysychání k objemovým změnám, které mohou mít za následek vznik statických poruch (trhlin) v odvlhčovaných stěnách;
- na územích s výskytem nekontrolovatelného výstupu důlního plynu, který obsahuje metan, může dojít k jeho výbuchu.

Ochlazování podlah a zvýšení tepelných ztrát lze omezit cyklickým provozem ventilátoru, kdy se provoz ventilátoru nastaví v závislosti na venkovní teplotě.

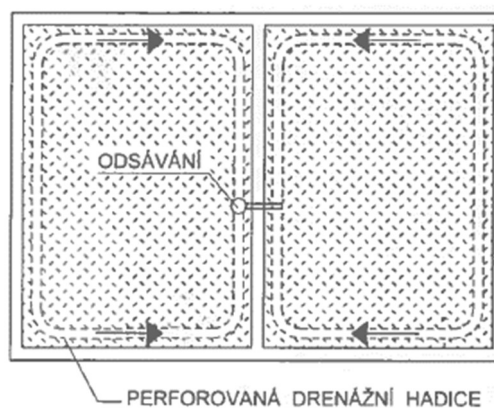
Provětrávaný drenážní systém umístěný v podloží objektu může být řešen dvojím způsobem:

- 1) **Pomocí drenážních trub zavrtaných ze suterénu nebo z exteriéru** (Obr. 35). Tento způsob je možno použít, pokud není možno zasahovat do podlahy. S ohledem na větší vzdálenosti trub od stěn a na skutečnost že se vrty vedou do původní zeminy. Účinnost tohoto systému bude ovšem nižší.
- 2) **Pomocí drenážních hadic uložených v podlaze podél stěn** (Obr. 36). Tento způsob můžeme použít, pokud je možno provést alespoň částečné vybourání podlahy. Trubky se ukládají podél stěn do štěrkového lože překrytého geotextilií.

S ohledem na nejistou účinnost provětrávaných drenážních systémů při odvlhčení zdiva je vhodné jejich návrh vždy řádně zvážit a navrhovat je spíše výjimečně – jako metodu doplňkovou k některé ze základních sanačních metod, případně v souvislosti s návrhem opatření proti pronikání radonu z podloží. [4]



Obr. 35 Odvětrávaný drenážní systém vytvořený pomocí trubek zavrtaných z prostoru sklepa [4]



Obr. 36 Odvětrávaný drenážní systém vytvořený z drenážních hadic uložených v podlaze podél stěn [4]



7.1.5 Volba obrazu proudění vzduchu v místnosti (Air management)

Obraz proudění vzduchu v místnosti znamená, jakým způsobem se vzduch v dané místnosti pohybuje. Obraz proudění vzduchu je důležitý například pro odvod vznikajících škodlivin a také k zajištění pohody prostředí ve větraném prostoru. Vhodnou úpravu proudění vzduchu v místnosti lze také využít pro:

- odvedení části vztlínající vody ze zdiva – doplnění některé sanační metody;
- zamezení vzniku kondenzace vodní páry z vnitřní strany tím, že odvedeme část vodní páry obsažené ve vnitřním vzduchu (například vlivem lidí). Tím snížíme jeho vlhkost, což má za následek snížení teploty rosného bodu vnitřního vzduchu.

S problémem kondenzace vodní páry mají například historické sakrální stavby. Tyto objekty bývají často nevytápěné, nebo vytápěné pouze krátkodobě během bohoslužeb. Navíc zde zpravidla dochází k velké vlhkostní zátěži vodními parami vydechovanými nebo jinak uvolňovanými pobývajících osobami po dobu bohoslužeb (člověk v klidu produkuje cca 40 g vodní páry za hodinu, při lehké námaze asi 60 g za hodinu). [4]

Na základě obrazu proudění vzduchu ve větrané místnosti, se zvolí vhodný typ, počet a poloha přívadecích a odváděcích otvorů. Poloha přívadecích a odváděcích otvorů má zásadní vliv na obraz proudění vzduchu ve větraném prostoru. Aby byla zajištěna pohoda prostředí, je třeba splnit podmínku, aby po dobu pobytu lidí ve větraném prostoru nebyla do úrovně 2 m nad podlahou rychlost proudícího vzduchu větší než $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

7.2 Dodatečné bariéry ve zdivu

Principem vytvoření dodatečných bariér je aplikace takové hmoty do konstrukce, která zabrání dalšímu pronikání vlhkosti do zdiva. To lze v zásadě provést buď chemickými metodami nebo metodami mechanickými.

Chemickými metodami se bariéra proti vlhkosti vytváří aplikací vhodných chemických látek do zdiva, kde pak vytvoří tzv. chemickou hydroizolační clonu.

Mechanické metody využívají princip vložení nové izolace do proříznuté (vybourané) spáry ve zdivu.

7.2.1 Chemické hydroizolační clony

Oblast zdiva dodatečně opatřená utěšňovacím prostředkem brání vztlínání vlhkosti a plní funkci dodatečné hydroizolace. Vpravení infuzního materiálu se provádí do předem vyvrtných otvorů. Tento způsob vytváření dodatečných izolací ve stávajících svislých konstrukcích je oproti ostatním mechanickým metodám (podřezávání, vrážení plechů, podbourávání zdiva) velice šetrný. Provádění infuzí však vyžaduje od provádějících firem a osob praktické i teoretické zkušenosti. [4]

Injektáže zdiva lze provádět u vnějších i vnitřních stěn staveb v celé jejich tloušťce, vždy je ale nutné stanovit přesné podmínky použití, potřebné množství a typ látky apod.



Základní zásady pro provádění a navrhování způsobů použití injektáží zdiva stanovuje ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva. Speciálním předpisem je směrnice WTA 4-4-96 – Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti [16].

Účinnost jednotlivých injektážních metod se při laboratorních zkouškách a měřeních pohybují od cca 50 % do 95 % v závislosti na druhu materiálů a zejména kvalitě provedení. [4]

V rámci sanace vlhkých konstrukcí prováděné injektážní technikou je například možné při použití vhodného materiálu zajistit i zpevnění stávajících zděných konstrukcí.

Použije-li se injektážní prostředek, který obsahuje účinné složky proti vzlínání vlhkosti a zároveň do narušeného zdiva doplní pojivo (zejména malty v ložných spárách), je tento způsob technicky i ekonomicky efektivní, protože se v jednom pracovním kroku provede izolace proti vlhkosti a zpevnění zdiva zároveň.

V případě, že přistoupíme k sanaci velmi vlhkého zdiva (tj. s póry zaplněnými vodou – porézní struktura, do které se může dostat injektážní prostředek je omezena), je třeba aplikovat injektážní látky **pod tlakem** nebo použít látky, které ve zdivu reagují s vodou. [4]

Vždy se pro dosažení lepších výsledků doporučuje **zdivo nejdříve předsušit** před samotnou injektáží. Velmi účinná je například metoda termicky aktivované injektáže za použití rozehřátých parafínů.

Všeobecně platí, že čím je menší osová vzdálenost vrtaných otvorů, tím je větší jistota účinnosti injektáže. Průměry vrtů bývají voleny v rozmezí 10 až 40 mm, jejich odklon od vodorovné roviny 15 až 45°. [4]

Při provádění injektáží vlhkého zdiva, které jsou v podstatě realizovány výhradně při rekonstrukcích objektů, běžně nastávají situace odlišné od předpokladů daných projektovou dokumentací. Jedná se například o případy, kdy zdivo nemá v celém profilu stejně kvalitní vyzdění, objevují se nepředpokládané dutiny, praskliny apod. Proto je nutné, aby injektáž byla prováděna vždy odbornou firmou s proškolenými a zkušenými pracovníky. Jedná se především o eliminaci nekontrolovatelného unikání injektážních prostředků z důvodu přítomnosti dutin, prasklin apod. [4]

Jako u každého sanačního systému je základem pro volbu nejvhodnějšího injektážního prostředku kvalitně zpracovaný průzkum zdiva, technická a projektová dokumentace sanace.

Pro injektáž se používají jednosložkové nebo vícesložkové injektážní hmoty, jako jsou například:

- akryláty;
- epoxidové pryskyřice;
- hydrogely;
- parafíny;
- polyuretanové pryskyřice;



- silikáty;
- silany;
- silikonové mikroemulze a další.

7.2.1.1 Principy působení chemických clon ve zdivu

Mechanismy zabraňování vztlínání zemní vlhkosti můžeme rozdělit do následujících skupin podle hlavních principů působení: [4]

- **utěšňující kapiláry** – aplikovaná látka má za úkol se penetrovat do pórů zdiva, ucpat je a chemickou reakcí ztuhnout do nepropustné formy. Do této skupiny lze zahrnout i krystalizační metody, které využívají mechanismu zarůstání pórů krystaly;
- **zužující kapiláry** – injektážní látka zužuje průřez pór. Tím se snižuje kapilární nasákavost. Vysoušecího účinku se docílí tím, že odpaření vlhkosti na povrchu materiálu je větší než její přísun;
- **hydrofobizační³⁾** – mechanismus metod založených na hydrofobní úpravě stěn pórů, což v podstatě zamezí kapilární vztlínivosti. Struktura a průřez hydrofobizovaných pórů zůstávají prakticky nezměněny. Výhodou je, že po uplynutí životnosti se dá opakovaně aplikovat obdobný reparát. V současné době patří tento systém k nejpoužívanějším postupům. Injektážní látka u těchto metod je obvykle na bázi silikonových mikroemulzí. Jelikož se jedná o mikroemulze, dostanou se do podstatně menších kapilár než v případě roztoků těsnících, které mají vyšší viskozitu. Struktura ošetřeného materiálu zůstává prakticky nezměněna;
- **kombinující jednotlivé principy** – kombinuje vlastnosti jak těsnících, tak hydrofobizačních.

7.2.1.2 Beztlakové injektáže

Beztlakové injektáže jsou nejběžnějším a nejpoužívanějším způsobem aplikace injektážního prostředku do struktur zdiva. Injektážní prostředky se do vrtů vpravují beztlakově, pouze kapilární nasákavostí, případně za využití mírného hydrostatického tlaku sloupce kapaliny ze zásobníku.

Osové vzdálenosti provedených vrtů závisí na nasákavosti zdiva a typu použitého materiálu. Obvykle jsou používány osové vzdálenosti 100 až 125 mm. Průměry vrtů jsou dány dle použité technologie a injektážního prostředku, převážně o průměru cca 20 až 38 mm. Úhel vrtání závisí zejména na skladbě a tloušťce zdiva a dále na použité technologii injektáže. Běžně jsou voleny úhly vrtání od 15° do 45°. Při větších tloušťkách zdiva je vhodnější provádět vrty oboustranně tak, aby zasahovaly od minimálně 1/2 do nejlépe 2/3 tloušťky stěny. [4]

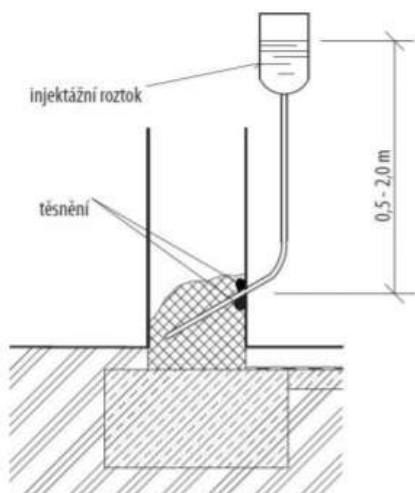
³⁾ *Hydrofobizace – vodoodpudivý proces. Hydrofobizační prostředek proniká do malé hloubky porézních materiálů a vytváří vrstvičku, která odpuzuje vodu a dobře propouští vzduch i vodní páru.*



Před samotnou injektáží je velmi důležité očistit připravené vyvrtané otvory od prachu a zbytky vývrtů. To se většinou provádí pomocí vzduchových kompresorů – vyfoukáním nebo odsátím.

Roztoky se do šikmých vrtů nalévají pomocí speciálních nádobek a zařízení, přepravních čerpadel apod. Beztlakovým způsobem je nejvhodnější aplikovat nízkoviskózní roztoky, které se snadno a dostatečně daleko penetrují do struktury injektovaného stavebního materiálu.

Při beztlakové injektáži se snadno zjistí přítomnost dutin ve zdivu, neboť pak dochází k nápadným ztrátám injektážního roztoku. Zdiva, ve kterých se vyskytují větší dutiny a zdiva z děrovaných cihel vyžadují před injektáží zvláštní opatření. Nejprve se musí vyplnit tekutým a nesmršlivým materiálem s obsahem pojiva. Toto vyplnění je nutné tehdy, jestliže nejde provést žádné jiné vyhovující opatření, aby injektážní prostředek nemohl nekontrolovatelně unikat ze zdiva. Injektáž se poté provádí tak dlouho, dokud není vytvořena účinná rovnoměrná vodorovná clona. [4]



Obr. 38 Schéma beztlakové injektáže [4]



Obr. 37 Příklad beztlakové injektáže [41]

7.2.1.3 Tlakové injektáže

Tlakové injektáže jsou vhodné zejména pro silně zavlhle stavební konstrukce a materiály. Uspořádání vrtů může být v jedné nebo ve více řadách. Osová vzdálenost se stanoví na základě předpokládaných minimálních hloubek pronikání injektážního prostředku ve zdivu, zpravidla okolo 100 až 300 mm o průměrech 10 až 12 mm.

Do vyvrtaných otvorů se osadí injektážní ventily, které zajistí těsné uzavření vrtů a přes tlakovou trubici se plní speciální vysokotlakou pumpou. Injektáž se provádí za nepřetržitého tlaku méně než 1000 kPa nízkotlakou metodou. Injektování je třeba provádět tak dlouho, dokud není vytvořena souvislá vodorovná clona. [4]

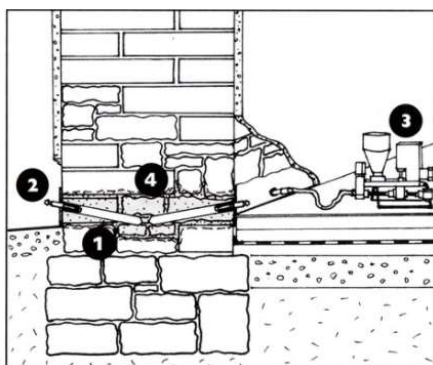
Oproti beztlakové injektáži je tlaková metoda výhodnější při manipulaci a rychlosti provádění, vyššího stupně naplnění kapilár se však nedocílí.



Legenda:

- ❶ Injektážní vrty
- ❷ Injektážní pakr
- ❸ Tlakové čerpadlo
- ❹ Proinjektovaná zóna zdiva

Funkční schéma metody



Obr. 40 Schéma tlakové injektáže [26]



Obr. 39 Čerpadlo pro tlakovou injektáž zdiva [42]

7.2.1.4 Metoda následné infuze [17]

U této metody se používají ekologicky nezávadné materiály. Principem metody je postupné napouštění do struktur zdiva dvou infuzních materiálů, z nichž má jeden utěšňující a druhý velmi vysoký hydrofobizační účinek.

Napouštění vrtů se provádí z nádobek umístěných v určité výši nad vrty v rozsahu od přibližně 0,5 do 2 m.

Používají se prostředky vodné silikátové a rozpouštědlové organokřemičité (silikonové) báze, které jsou z hlediska koroze stavebních materiálů inertní (netečné). Ve struktuře a na povrchu konstrukce nedochází k výkvětu solí. Silikonový prostředek obsahuje jako rozpouštědlo technický líh.

Použité druhy injektážních prostředků mají vysokou pronikající schopnost do materiálových struktur. Ve srovnání s používáním jenom samotných utěšňujících nebo hydrofobizačních prostředků vodné báze se do konstrukce zavádí poměrně méně vody. Tím se doba vysušování zdiva nad vytvořenou clonou zkracuje. Ve zdivu vytvořená clona je stálá a za všech vlhkostních podmínek stavby nepodléhá procesu smršťování a vysychání gelu.

7.2.1.5 Termicky aktivovaná injektáž

Tento způsob injektáže oproti ostatním zahrnuje v pracovním postupu mezi vyvrtáním a vlastní injektáží proces vysušení izolovaného zdiva, což má příznivý dopad zejména na účinnost metody a následnou pevnost izolovaného zdiva. Infuzní prostředek (roztavený parafín) je ve zdivu ukládán v oblastech teplotně připravených pro jeho vstřebání do kapilár, tj. v místech, kde jsou kapiláry zbaveny obsahu vlhkosti a materiál zdiva je



Obr. 41 Vyhřívání vrtů ve zdivu [35]



dostatečně ohřátý na cca 200 °C. Doba ohřevu závisí na vlhkosti materiálu, tloušťce zdiva a jeho složení a pohybuje se v rozmezí od 12 do 24 hodin. Metoda tedy není závislá na stupni vlhkosti v rovině prováděných vrtů, neboť injektáž je prováděna do zóny vysušeného zdiva. [4]

Na rozdíl od jiných infuzních metod, včetně mechanických, není v žádné etapě prací používána voda, tudíž nedochází k dodatečnému zamokřování konstrukcí a tím je umožněno urychlené předání sanované části staveb do provozu. Přirozené vysychání konstrukcí je vůči ostatním metodám zkráceno zhruba na polovinu. Okamžitě jsou zlepšeny tepelné technické parametry zdiva, což zlevňuje vlastní provoz objektu.



Obr. 42 Plnění připravených vrtů parafínem [35]

Provedené zkoušky kamenného zdiva po jeho vysušení a následném napuštění parafínem, prokázaly u některých kamenů (např. opuky) výrazné zvýšení pevnosti kamene a zdící malty v oblasti injektáže o více než 100 %. [4]

7.2.1.6 Rubová injektáž

Tato injektáž se neprovádí ve hmotě zdiva, ale na styku rubové strany podzemního zdiva s navazujícím zemním tělesem. Injektážní vrty se vrtají na celou tloušťku zdiva, tak aby se injektovaný materiál dostal do styku rubu zdiva se zeminou. Tato injektážní technika se používá k vytvoření dodatečných izolací podzemních částí staveb jak proti zemní vlhkosti, tak i proti tlakové vodě. Základní podmínkou úspěchu je použití vhodného injektážního materiálu. S výhodou se pro tento druh injektáže používají tzv. gely nebo také hydrogely, které reagují s vodou a vytvářejí vodonepropustnou trvale pružnou vrstvu. Protože hydrogel má schopnost vázat vodu do své struktury, je možné injektáž provádět i do velmi vlhkého prostředí. Injektážní vrty se provádějí v rastru, který umožní vytvořit na rubu zdiva spojitou hydroizolační membránu. Rozteč vrtů se volí podle druhu zeminy, podle zatížení vodou a podle dalších konkrétních podmínek. Injektáž se provádí zásadně jako tlaková, vhodným injektážním čerpadlem. Injektáž se zpravidla provádí ve třech krocích plnění. [4]



Obr. 43 Schématická ukázka rubové injektáže [18]



Rubová injektáž umožňuje provádět dodatečné hydroizolace podzemních částí staveb bez odkopání, snižování hladiny spodní vody a podobných náročných opatření.

Práce je nutné provádět na základě odborného návrhu, který zohlední podmínky v daném místě.

Problematikou rubových injektáží se dále podrobněji zabývá směrnice WTA 4-4-04 [19]

7.2.2 Mechanické metody aplikace dodatečných izolací

Vytvoření bariéry ve zdivu vložením nepropustného materiálu patří mezi nejúčinnější úpravy při provádění dodatečných izolací a sanací vlhkého zdiva.

Utěšňující horizontální izolace zdiva se zřizují poměrně obtížně, avšak z hlediska jejich funkčnosti dosahují nejvyšších hodnot. Způsob a typ provedení je přímo závislý na místních podmínkách, druhu zdicího materiálu, kvalitě výplně spár, tloušťce zdiva, statických podmínkách apod.

7.2.2.1 Dodatečné vložení vodorovné izolace do probouraných otvorů

Tento způsob je většinou používán při rekonstrukcích drobných staveb a staveb s velmi složitou skladbou zdicího materiálu. Jde o poměrně pracnou metodu spojenou s vysokým rizikem poškození statiky stavby, pomalým postupem prací a možností vzniku následných poruch důsledkem nedostatečného vyklínování dozdivaných bloků zdiva.

Před zahájením prací je třeba odstranit stávající omítky v místech provádění tak, aby byla dostatečně známa skladba zdiva a průběh vodorovných spár. Následně se začne s vybouráváním zdiva v mocnosti cca 2 až 4 vrstev cihel a šířce otvorů 0,8 až 1,5 m v závislosti na kvalitě stávajícího zdiva, jeho zatížení, celkové tloušťce apod. Mezi jednotlivými otvory se zachová pilíř zdiva o minimální šířce 0,6 m. Podkladní vrstvy zdiva v otvorech se očistí a vyzdí se jedna až dvě vrstvy cihel, na jejichž vrchní plochu se nanese cementová malta. Výšku takto upravené podkladní vrstvy pro provedení izolací je vhodné maximálně přizpůsobit výškové úrovni plošných izolací vodorovných konstrukcí objektu. Po zatvrdnutí cementové mazaniny je položena izolační vrstva (modifikované izolační pásy, PE fólie apod.). [4]



A)



B)



C)

Obr. 44 A) Probourání prvních otvorů, vložení izolace a dozdění; B) Probourání dosavadních pilířků; C) vložení izolace a dozdění zbylého zdiva [36]

Zbývající prostor nad izolací se dozdí cihlami a řádně doklínuje z obou stran statickými plastovými klíny, které jsou od sebe vzdáleny maximálně 10 až 20 cm. Poté se stávající pilířky vybourají a postupuje se stejným způsobem. Překrytí izolačních pásů by mělo být minimálně 10 cm. Po zaizolování a statickém zajištění objektu se přistoupí k tlakové injektáži spáry cementovou maltou s plastifikátorem. [4]

7.2.2.2 Dodatečné vložení vodorovné izolace do proříznuté ložné spáry

Podřezání zdiva ručně

Nejjednodušší způsob, ale s velmi omezenou možností použití, je proříznutí spáry pomocí ruční pily. Jde o velmi pracnou záležitost použitelnou hlavně u cihelného zdiva do maximální tloušťky cca 45 cm v závislosti na kvalitě spáry a pevnosti maltového lože.



Obr. 45 Ruční podřezání zdiva [36]



Podřezání řetězovou pilou – strojově

V místě podřezávání se otluče omítka za účelem odkrytí a kontroly řezané spáry. Povrch terénu okolo izolovaného zdiva musí být dostatečně pevný a rovný, upravený pro pojezd stroje. Pilová lišta se ustaví do vodorovné polohy, zdivo se nejprve prořízne do potřebné hloubky a následně se pomocí pojezdu pokračuje s řezem po délce zdiva po úsecích cca 1 m. Po proříznutí zdi se spára vyčistí a do drážky se vloží požadovaný typ izolace (např. izolační pásy PE fólie).



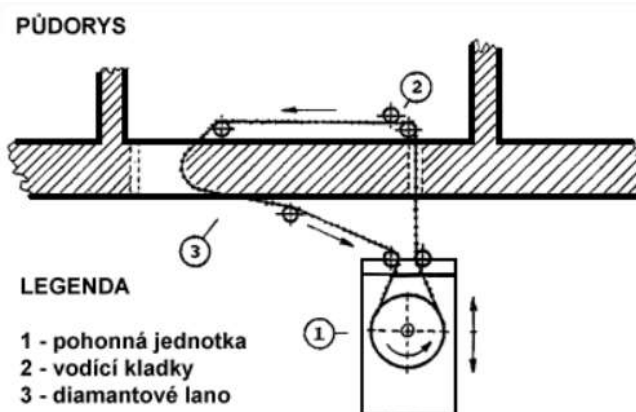
Obr. 46 Podřezání zdiva pilou s pojezdem stroje [27]

Izolace se v proříznuté spáře upevňuje natloukanými rozpěrovými klíny, které se vkládají oboustranně v roztečích cca 20 až 30 cm. Jednotlivé pásy fólie by se měli překrývat alespoň o 10 cm. Po zaklínování vložené izolace se pokračuje s dalším prořezáváním a následným opakováním celého cyklu.

Po zaizolování se mezera mezi klíny vyplní pod tlakem cementovou maltou s plastifikátorem (tlaková injektáž spáry).

Podříznutí kamenného a smíšeného zdiva lanovou pilou s diamantovým lanem

Diamantová lanová pila je určena k řezání zdiva všeho druhu a složení (kamenného, smíšeného, cihlového i betonového) bez omezení jeho šíře. Řez je možné provádět vodorovně, svisle i šikmo. Řezací lano je složeno z navlečených řezných segmentů. Nejprve se v místech budoucího řezu vyvrtají otvory pro vložení lana (cca 4 až 5 m od sebe) a osadí se skupina kladek pro jeho vedení. Stroj pohání uzavřenou smyčku diamantového lana soustavou vodících kladek a postupným zkracováním této smyčky dochází k vlastnímu řezání. [4]



Obr. 47 Schéma podříznutí zdiva lanovou pilou s diamantovým lanem [31]

Důležitým procesem řezání diamantovým lanem je jeho neustálé chlazení vodou. Hadice se s přívodem vody přímo vkládá do vlastního řezu ve směru otáčení lana.

Další postup vkládání izolačních pásů, klínování a injektáže spáry je obdobný jako u podřezávání pilou.



Dodatečné vložení vodorovné izolace zarážením desek

Tuto metodu je možné aplikovat u všech budov s průběžnou spárou v cihelném zdivu.

Desky jsou provedeny z nerezavějících materiálů o tloušťce cca 1,5 mm. Velmi důležité jsou mechanické vlastnosti používaných desek, neboť plechy musí překonat odpor při rozpojování materiálu spár a tření desky. Pro dodržení těchto potřebných parametrů jsou plechy profilovány do vlnek. Desky jsou strojně zaráženy do spár zdiva, aniž by docházelo k jeho porušení. Jednotlivé desky se ve styku překrývají o 2 až 3 vlny, případně do sebe zapadají pomocí speciálních zámkových spojů. Takto je rychle vytvářena kapilárně nepropustná a nerezavějící horizontální uzávěra proti vztlínající zeminí vlhkosti. [4]



Obr. 48 Vkládání izolace zarážením desek [37]

7.3 Jílové izolace

Jíly jsou typickými přírodními surovinami, jejichž charakteristickou vlastností je, že se ve vodě stávají snadno tvarovatelné bez porušení celistvosti. Po vysušení si vzniklé jílové těsto zachová svůj tvar a zároveň získá, mimo mechanické pevnosti, i odolnost proti vodě a vlhkosti.

Jílové izolace patří mezi nejstarší opatření prováděná současně se stavbou nebo dodatečně a lze je zařadit mezi úpravy historické. Jejich hlavní výhody jsou ve stupni účinnosti – neutěšňují stavby a jejich části stoprocentně a zajišťují tak přiměřený vlhkostní stav ve zdivu. Vhodnost jejich použití je omezená právě touto vlastností a zejména nutnými stavebními úpravami, které aplikaci jílu provází.

Úspěch jílových izolací je dán především těmito podmínkami:

- jílové vrstvy jsou uloženy do oboustranně zavlhělého prostředí s jistotou, že toto prostředí bude zachováno po aplikaci (nebude tedy přerušeno přísunem vlhkosti, která způsobovala poruchy na stěnách);
- izolační vrstvy jsou provedeny jako kombinované, tj. suché a zvodnělé s tím, že se v čase navzájem „zatahují“;
- zásadním detailem, který uzavírá skladbu jílových izolací, je horizontální ukončení – koruna.

Izolace jílem jsou vhodné jako:

- ochrana zdiva boků staveb pod úrovní terénu při částečné nebo úplně zapuštěných suterénech;
- ochrana zdiva, které je přímo pod vodou;



- izolace stropů a kleneb pod terénem, tj. sklepů částečně nebo úplně situovaných pod dvory, terénem nebo v hradbách se zatravněnými korunami.

Ochrana boků zdiva pod úrovní volné vody je řešena vkládáním jílových vrstev do ztraceného bednění s jedním nebo dvěma úskoky, které odpovídají tvaru zdiva. Takto provedená izolace je velmi účinná, jednoduchá a z hlediska nákladů i velmi příznivá. Detailem, který bývá složitější, je ukončení této izolace v úrovni terénu. Úprava je řešitelná i ve velmi amatérských podmínkách a nároky na přesnost provedení jsou malé. Základní zůstává technologie vlastní hmoty – jílu. Jílové izolace tohoto typu jsou neúčinnější, jsou-li stále zavlhlé. Proto by neměly být používány v oblastech, kde tento předpoklad není zaručen. Nehodí se také jako doplnění izolací jiných. Z hlediska návaznosti na jiné materiály nejsou příliš vhodné. Naopak jsou vhodné v místech nebezpečí jistých pohybů nebo posunů zeminy a objektu – jsou-li zavlhlé, zůstávají relativně pružné. [4]

Historicky nejobvyklejším řešením izolací jíly je ochrana podzemního zdiva pod úrovní podlah – terénu nebo chodníků, a to vždy v oblasti založení. Jedná se tedy o izolace stěn nepodsklepených objektů nebo nosných středních stěn v suterénech. Tato izolace má zabránit pronikání vody do oblasti základů a je omezena několika základními podmínkami:

- může být proveden odkop z hlediska statiky objektu, neboť vytvoření jílových vrstev žádným způsobem nepřenáší statické zatížení;
- podíl z boků pronikající vody do zdiva je skutečně oproti vodě do zdiva vztlínající dominantní a nedojde tedy k rychlejšímu vztlínání vody z podzákladí po uzavření boků;
- je možno provádět odkopy z hlediska situace stavby a je možno uzavřít korunu jílové vrstvy vhodným detailem (tj. skladba chodníků, povrchů dvorů, podlah v místnostech atd.);
- v případě skutečně velkého zavodnění je vhodné kombinovat toto řešení s aplikací drenáží s využitím pracovního výkopu pro jílové izolace.

7.3.1 Plošné bentonitové hydroizolace – rohože

Bentonit je jílová hornina s mohutnou sorpční schopností, vysokou hodnotou bobtnání a plastičností. Bentonity vznikly mechanickým a chemickým zvětráváním matečné horniny, především tufů a jiných převážně třetihorních hornin.

Bentonity lze v zásadě rozdělit na:

- silně bobtnavé bentonity sodné – nárůst objemu při styku s vodou více než 500%;
- méně bobtnavé, především draselné bentonity – nárůst objemu při styku s vodou cca 100 %.



Jako plošná hydroizolace především železobetonových konstrukcí většího rozsahu (tzv. hnědá vana) se používají speciálně upravené rohože obsahující bentonit sodný. Tyto rohože jsou odzkoušeny i na tlak vodního sloupce 50 m. [4]

Pro úspěšný návrh a aplikaci hydroizolace bentonitovými rohožemi je především důležitá skladba rohoží. Rohož by měla mít ochrannou vrstvu zabraňující předčasnému bobtnání po položení na podkladní beton a zároveň rohož musí zajistit stabilitu bentonitu proti eventuálnímu vymývání v případě proudící podzemní vody.



Obr. 49 Ukázka použití bentonitové rohože ve větším rozsahu [38]

7.4 Metody elektroosmotické

Metody elektroosmotické jsou způsoby sanace vytvářející potenciál stejnosměrného elektrického proudu ve zdivu, který potlačuje proces kapilárního vztlínání vody. Jde o metodu přímé sanace vlhkého zdiva určenou pro všechny druhy materiálů a konstrukcí s pórovitou strukturou, ve kterých dochází k pohybu vody působením kapilárních sil.

V systému kapilár je srážena vlhkost směrem „dolů“ pomocí trvalého elektrického napětí. Nutnou zásadou metod je použití stejnosměrného proudu, jehož skutečná hodnota je max. 6 voltů. [7]

Řešení spočívá v zabudování kladných a záporných elektrod do zdiva, navzájem propojených. Obě elektrody jsou napájeny ze síťového zdroje. Elektrody bývají z materiálů nekovových (kvůli možné korozi), nebo z prvků z ušlechtilých kovů.

Elektroosmotických metod se užívá v situacích, kdy zvýšená vlhkost zdiva nelze odstranit žádnou stavební ani chemickou metodou. Na objektu nelze provést žádné stavební úpravy, jako například výkopy, odkopy, vybourávání apod., ale jsou i vyloučeny takové úpravy, které stavbu výrazně prodraží (šachovnicovitě rozvržené infuzní clony apod.). [7]

Jestliže je tedy třeba snížit množství vlhkosti ve zdivu a současně do něj minimálně zasahovat, je možné použít některou z metod založených na elektrokinetických jevech. Elektroosmózy se tedy uplatňují zejména:

- ve stavebně složitých případech s nemožností venkovních stavebních úprav;
- u podsklepených budov, kde není možné žádným způsobem prohloubit dvory event. chodníky;
- v rozestavěných stavbách s řadou instalací, kanálů, nových příček i vybourávek, které zamezují stavebním opatřením;



- u památkově chráněných staveb, zejména tam, kde není možné žádným způsobem zasahovat zdiva, kde jsou malby a fresky, složité architektonické detaily, chráněná dlažba apod.

7.4.1 Princip řešení odvlhčování zdiva aktivní elektroosmózou

Metoda aktivní elektroosmózy využívá ke své funkci elektrický okruh, který se skládá z těchto částí:

- kladná elektroda;
- záporná elektroda;
- řídicí skříňka;
- vodivé propojení – vodiče 1. třídy;
- vlastní zdivo – vodič 2. třídy.

Elektrody kladné

Její funkcí je vytvoření kladného pólu elektrického pole. Je napájena stejnosměrným proudem z napáječe a bývá zabudována na zdivo pod omítku nebo do vyfrézované drážky ve zdivu.

Tvar elektrody nejčastěji bývá ve formě síťky výšky 250 až 300 mm z pletiva ze skleněných vláken potažených elektricky vodivým lakem nebo z polytetrafluoretylenu (PTFE) s elektrovodíkovou uhlíkovou přísadou.

Elektrody lze osadit na zdivo z jedné nebo z obou stran. Vždy musí být splněna zásada osazení **kladné elektrody ve vyšší úrovni než elektroda záporná**. Kladná elektroda by neměla být umístěná pod úroveň terénu. Je nutné minimálně 0,5 m nad elektrodou použít sanační omítky. [4]

Elektrody záporné

Její funkcí je vytvoření protipólu elektrody kladné. Tím pak dochází ke vzniku elektrického pole mezi oběma póly. Elektroda je napájena stejnosměrným proudem z napáječe a bývá zabudována do paty zdiva, pod podlahou nebo do země. [4]

Tvar elektrody bývá nejčastěji tyčový z elektricky vodivého, grafitem plněného plastu, někdy je řešen formou kabelu či síťky stejného tvaru s elektrodou kladnou.

Záporné elektrody jsou řešeny jako jediné zemní, nebo jako soustava pravidelně rozmístěných navzájem propojených tyčových elektrod.

Řídicí skříňka

Ovládací přístroj je obvykle chráněn ochranným pouzdem, odolné pro vlhké prostředí. Je napojen na elektrickou síť 220/240 V. Vždy jsou přístroje konstruovány tak, že se ani v případě havárie nedostane do soustavy vysoké napětí. Indikace proudu na přístroji umožňuje optické sledování pokroku vysychání zdi na hodnotě klesajících miliampérů. [4]



Hlavní funkce řídicí skříňky jsou:

- transformace napětí;
- snímání proudu elektroosmotického okruhu;
- zaznamenávání času funkce zařízení;
- umožnění zapojení více funkčních okruhů.

Proud v celém okruhu je kontrolován a jeho velikost je viditelné na displeji přístroje. Spotřeba proudu je odhadnutá v 1. roce provozu na přibližně 25 až 100 kWh na 100bm zdiva a snižuje se v průběhu až na hodnotu 5 až 20 % počáteční hodnoty. [4]

Propojovací vodiče

Propojovací vodiče jsou tvořeny měděnými vodiči 1–2 mm v průměru. Vodiče jsou chráněny pryží a jsou vedeny v drážkách vysekaných ve stropě, stěně či zemi. V případě mechanického zatížení jsou chráněny umístěním v chráničce o průměru 16 mm. Vodiče mohou být vedeny zvlášť nebo odděleně. Systém je doplněn kontrolními a spojovacími krabičkami umístěnými přímo na kladné elektrodě nebo ve vzdálenosti 300 mm od ní. [4]

7.4.2 Příklady praktického návrhu elektroosmotického systému

K návrhu elektroosmotických odvlhčovacích metod dochází až tehdy, pokud nelze z nějakého důvodu uplatnit metody jiné, a přesto je řešení alespoň částečného odvlhčení konstrukce žádoucí. Před volbou elektroosmotického návrhu je dobré si uvědomit několik důležitých věcí, jako například: [4]

- úvaha do jaké míry je žádoucí snížení vlhkosti ve vztahu k budoucímu provozu;
- **při elektroosmóze dochází k přesunu vody** (ne k jejímu odstranění), tudíž voda, která bude v oblasti kladné elektrody se přesune do oblasti záporné elektrody;
- k elektroosmotickému toku dochází pouze tehdy, pokud je vytvořeno elektrické pole a soustavou prochází proud. V případě přerušení dodávky elektrické energie dochází k přerušení činnosti elektroosmotického zařízení.

V případě návrhu elektroosmózy je vhodné respektovat následující body:

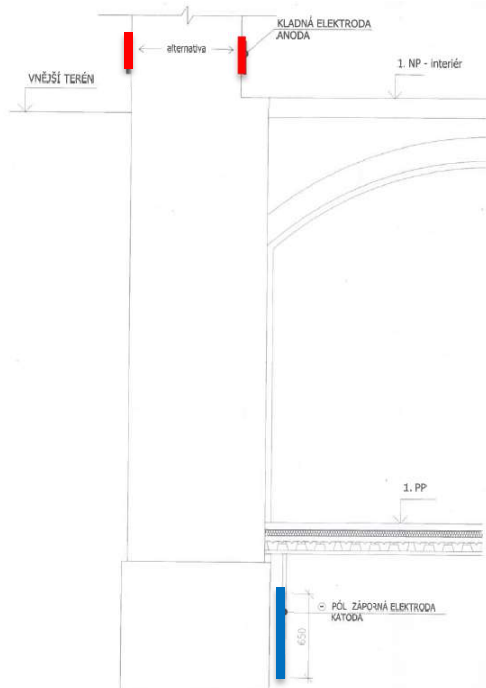
- vzájemná vzdálenost kladné a záporné elektrody by měla být co nejmenší;
- kladná elektroda by měla být umístěna do vlhké oblasti zdiva, nikoli nad ní;
- u záporné elektrody je vhodnější její umístění do zeminy před montáží do paty zdiva samotného;
- elektroosmotické metody by měly být kombinovány s opatřeními doplňujícími, např. sanačními omítkami, částečnými odkopy, vytvoření provětrávaných dutin atd.

Pro ukázkou praktického návrhu elektroosmotické soustavy byl zvolen modelový (velmi častý) příklad, kdy je potřeba odvlhčit podzemní cihelnou stěnu historického objektu. Úroveň podlahy je cca 3,5 m pod úrovní terénu a sklepy jsou využívány ke skladovým



účelům (není kladen důraz na absolutní vysušení zdiva). Ve všech následujících případech byla záporná elektroda (modře) umístěna do nejnižšího bodu země k patě zdiva z interiéru. Možné alternativy jsou vytvořeny různým umístěním kladné elektrody (červeně) do zdiva. [4]

Příklad 1

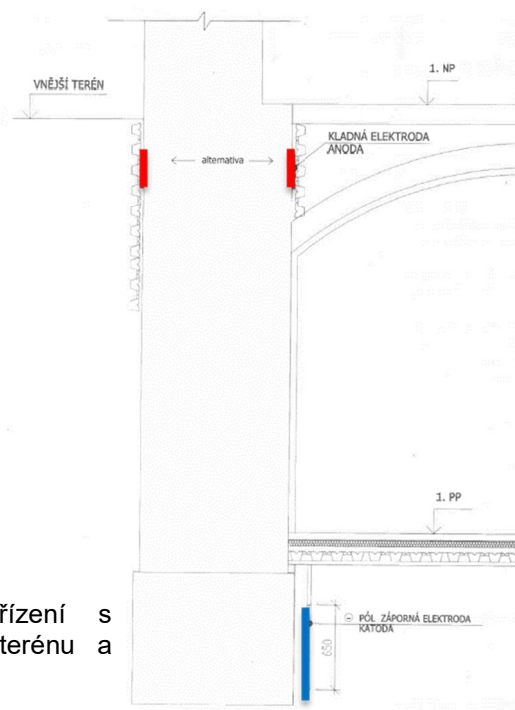


Kladná elektroda byla umístěna nad terén v alternativním uložení buď do interiéru, či exteriéru. Nepochybnou výhodou této varianty je snadná a rychlá montáž. Nevýhodou je poměrně velká vzájemná vzdálenost mezi elektrodami. V případě umístění záporné elektrody do interiéru, dáváme přednost umístění kladné elektrody do exteriéru tak, aby se vytvořilo elektrické pole diagonálně přes zdivo. V horším případě lze připustit umístění kladné elektrody z interiéru. [4]

Obr. 50 Elektroosmotické zařízení s umístěním anody nad terén a katody do podlahy sklepa [4]

Příklad 2

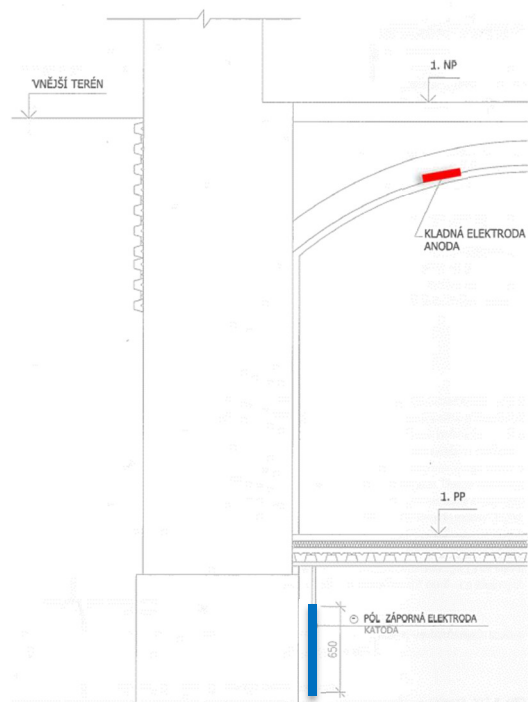
Kladná elektroda umístěna pod úroveň terénu do vytvořené vzduchové dutiny. Výhodou tohoto řešení je maximální přiblížení elektrod. Nevýhodou je velká pracnost spojená s odkopem či demontáží podlahy. V tomto případě opět dáváme přednost vzájemnému diagonálnímu umístění elektrod. [4]



Obr. 51 Elektroosmotické zařízení s umístěním anody pod úroveň terénu a katody do podlahy sklepa [4]



Příklad 3

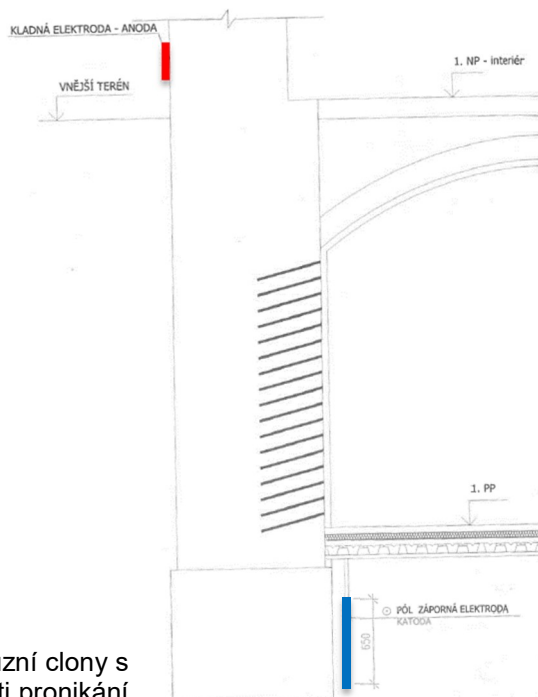


Kladná elektroda umístěna na klenbu podzemní místnosti. Výhodou tohoto řešení je snadná a rychlá montáž. Nevýhodou je poměrně velká vzájemná vzdálenost elektrod a možnost dotování neošetřeného zdiva vlhkostí nad úroveň paty klenby z exteriéru. Elektrické pole se vytvoří na nejkratší možné trase mezi elektrodami v místě maximální vlhkosti. Lze očekávat zlepšení vlhkostního stavu na vnitřním líci zdiva v úrovni sklepa, avšak pokud nedojde k izolaci zdiva nad úroveň paty klenby z exteriéru, bude dešťová voda vzlínat zdívnem nad terén. Návrh je tedy vhodné doplnit alespoň částečným odkopem a izolací zdiva v exteriéru. [4]

Obr. 52 Elektroosmotické zařízení s umístěním anody na klenbu podzemní místnosti [4]

Příklad 4

Pokud se jedná o velmi silné zdivo a je žádoucí snížení vlhkosti v celé jeho šíři, pak lze zvýšit účinnost elektroosmotické metody zvětšením proudové hustoty elektrického pole. Může se provést například kombinace mělké plošně aplikované chemické clony z interiéru s elektroosmotickým zařízením. V případě elektroosmotického vysušování nadzemní konstrukce a konstrukce podzemní, do které částečně proniká volná voda, přichází v úvahu kombinace řešení s utěsněním nosné zdi. V těchto případech se jedná o řešení drahé a stojí za úvahu, zda je nezbytné snižovat vlhkost v celé šíři zdiva. [4]



Obr. 53 Kombinace chemické infuzní clony s elektroosmózou – případ možnosti pronikání volné vody z boků [4]



7.5 Povlakové hydroizolace

Vodotěsná izolace spodní stavby je velmi náročný prvek stavby. Jde o část konstrukce, která je po zabudování trvale nepřístupná a přitom dlouhodobě ovlivňuje kvalitu a životnost stavby – užitnou hodnotu. V projektu hydroizolace spodní stavby nesmí chybět vyřešení základních skladeb včetně detailů vyskytujících se na stavbě. Tento návrh by měl být optimální variantou řešení hydroizolací spodní stavby, zohledňující veškeré možnosti, podmínky a aspekty při realizaci a provozu.

Pro povlakové vodotěsné izolace spodních staveb se v současné době používají dva základní materiálové systémy:

- modifikované asfaltové pásy – SBS, APP
- syntetické fólie – mPVC, TPO, LDPE, HDPE

Použití asfaltových oxidovaných pásů je možné, ale výhodné je používat pouze pro stavby, kde jsou kladeny na vodotěsné izolace menší nebo minimální nároky. Výše uvedené typy syntetických fólií jsou nejčastěji používané.

O použití povlakových hydroizolací bylo napsáno již mnoho publikací. Především je nutné všechny typy povlakových hydroizolací navzájem vodotěsně propojit. To bývá často problém zejména u malých detailů při použití asfaltových pásů. V této práci se nebudu věnovat problematice opracování všech detailů pomocí povlakových hydroizolací. V následujících dvou kapitolách uvádím stručnější popis dvou nejzákladnějších typů povlakových hydroizolací – asfaltových pásů a hydroizolačních fólií.

7.5.1 Povlaková hydroizolace z asfaltových pásů

Izolační povlak má být vystaven pouze silám kolmým k jeho povrchu, které mají být rovnoměrně rozloženy. Napětí v tlaku nemá u asfaltových povlaků z modifikovaných pásů překročit 0,5 MPa při teplotě do 20 °C. V podmínkách gravitační vody se dodržení uvedených zásad doporučuje. Hydroizolační povlaky z modifikovaných asfaltových pásů nemají být trvale vystaveny teplotě vyšší než 40 °C. [20]

Povlakové hydroizolace z asfaltových pásů se vytvářejí z jednoho či více asfaltových pásů. V povlacích z více pásů musí být pásy mezi sebou celoplošně svařeny. Na vodorovných plochách se připojení k podkladu realizuje bodovým natavením. To slouží k fixaci povlaků při realizaci. V odůvodněných případech je možné od natavení upustit. Na svislých plochách je nezbytné provést připojení asfaltových pásů k podkladu. Čelí se tím jejich sesouvání vlastní vahou, proti sesunutí při zasypávání a hutnění zásypů stavební jámy nebo při betonáži. Připojení k podkladu se provádí bodovým natavením nebo kotvením prvního asfaltového pásu. V případě bodového natavení je nezbytné stavební konstrukce jako podklad pro asfaltové pásy penetrovat. V komplikovaných případech (složitě tvary základových konstrukcí, nepříznivé klimatické podmínky v době realizace) je třeba v projektu a rozpočtu počítat s jedním pásem navíc proti počtu pro dané namáhání vodou. [20]



Asfaltové pásy nacházejí své uplatnění především proti zemní vlhkosti, prosakující vodě, nebo tlakové vodě, nebo jako izolace proti pronikání radonu a to v podobě svislé izolace stěn, nebo vodorovné izolace podlah.

Asfalty se vyrábí destilací ropy, kdy surový ropný asfalt se označuje jako primární asfalt (impregnují se jím papírové lepenky a vzniká tak pás typu A). V další fázi se, zjednodušeně řečeno, do primárního asfaltu vháněl kyslík, a vzniká tak oxidovaný asfalt.

Mezi největší nevýhody oxidovaného asfaltového pásu patří jeho neodolnost vůči UV spektru slunečního záření, jeho stárnutím dochází k jeho křehnutí a zároveň se nehodí pro použití v podmínkách pod 0 °C a nad 70 °C. [21]

Přidáním modifikátorů do směsi extrahovaného asfaltu a primárního asfaltu upraveného krátkou oxidací pak vzniká modifikovaný asfalt.

Prvním typem je modifikace APP (amorfní polypropylen). Mezi jeho největší výhody můžeme zařadit vynikající odolnost vůči UV spektru slunečního záření (u některých stupňů modifikace není nutný ani ochranný posyp), jeho dobrá zpracovatelnost v širokém pásmu teplot a zároveň se jedná o tužší hmotu, která je odolnější vůči protlačení či propíchnutí. Mezi největší nevýhody se považuje fakt, že asfaltová hmota nemá elastický (vratný) charakter a při opakovaném protažení nedochází k tzv. vrácení hmoty, a může tak dojít k popraskání. [21]

Druhým typem je modifikace SBS (styren-butadien-styren). Oproti APP má SBS modifikovaný asfaltový pás slabší odolnost vůči UV spektru slunečního záření, z čehož vyplývá nutnost povrchové úpravy. Asfaltová hmota má elastický charakter, při protažení dochází k vratnému efektu, což se kladně projevuje při dilatačních pohybech, a s tím spojená snadná zpracovatelnost za nízkých teplot. Modifikovaný SBS pás může být navíc samolepící a u některých typů modifikace SBS můžeme svařovat přesahy horkým vzduchem. [21]

Srovnání jednotlivých pásů a jejich vlastností je uvedeno v *Tab. 4*.

Tab. 4 Srovnání vlastností jednotlivých typů asfaltových pásů

Druh asfaltového pásu/asfaltové hmoty	Ohebnost za nízkých teplot [°C]	Stálost za tepla [°C]	Bod měknutí [°C]
oxidovaný	0 až 4	70	85 až 90
modifikovaný APP	-5 až -15	115 až 130	135 až 150
modifikovaný SBS	-15 až -35	90 až 110	110 až 125

Asfaltové pásy můžeme dále dělit na tři základní typy podle jejich tloušťky:



1. pásy typu A tloušťky do 1 mm – jedná se v podstatě o nosnou vložku z papírové lepenky nebo skleněného rouna, impregnovanou primárním asfaltem, nemají tedy krycí asfaltovou vložku, jako hydroizolační vrstva jsou naprosto nevhodné (nasákavá vložka, chybí krycí asfaltové vrstvy),
2. pásy typu R tloušťky do 2,5 mm – tyto pásy mají již obě krycí asfaltové vrstvy, ovšem jako hlavní hydroizolační vrstva se opět nepoužívají, je možné je využít v některých případech pouze jako spodní vrstva hydroizolačního souvrství, kdy horní vrstvu musí vždy tvořit pás typu S,
3. pásy typu S tloušťky 4 až 5 mm – tyto pásy se používají jako hydroizolační vrstva plochých střech, podmínkou je nenasákavá nosná vložka, vlastnosti a použití pásu jsou dány druhem nosné vložky a typem krycích asfaltů a povrchovými úpravami.

Jako u každé sanační metody je nutné, aby použití asfaltových hydroizolačních pásů předcházelo stavebně-technologický průzkum objektu. Zejména je třeba znát jaký typ hydrofyzikálního namáhání na objekt působí. Může to být například pouze zemní vlhkost, nebo tlaková voda. Danému namáhání se musí přizpůsobit i skladba povlakové hydroizolace z asfaltových pásů.

7.5.2 Povlaková hydroizolace z hydroizolačních fólií

V prostředí tlakové vody má být hydroizolace vystavena pouze silám kolmým k povrchu, které mají být rovnoměrně rozloženy. Napětí v základové spáře nemá u fóliových hydroizolací překročit 5 MPa při teplotě do 20 °C, pokud výrobce nestanoví jinak. Fóliové hydroizolace na bázi měkčeného PVC nemají být trvale vystaveny teplotě vyšší než 40°C. Hydroizolační povlak nesmí být v žádném případě namáhán smykovými silami. [20]

Stejně jako asfaltové pásy můžeme i hydroizolační fólie použít u hydroizolace spodních staveb proti zemní vlhkosti, vodě prosakující horninovým prostředím, nebo proti tlakové vodě jako svislé izolace stěn nebo vodorovné izolace podlah.

Hydroizolační fólie mají oproti asfaltovým pásům řadu výhod ale i nevýhod. Některé rozdílnosti jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5 Výhody a nevýhody hydroizolačních fólií a asfaltových pásů [21]

Hydroizolační fólie	Asfaltové pásy
menší tloušťka 1 až 2 mm	tloušťka 4 až 5 mm
nižší plošná hmotnost běžně 1,8 až 2 kg/m ²	plošná hmotnost běžně 4 až 6 kg/m ²



Hydroizolační fólie	Asfaltové pásy
snadnější manipulace při práci	pásy jsou těžší, problematičtější při kladení na svislé plochy
pokládka probíhá většinou v jedné vrstvě	pokládka v jedné vrstvě pouze v menší míře, spíše se pokládají dvě i více vrstev pásů
fólie jsou více průtažné, některé i elastické	pásy nepřenesou pohyb podkladních vrstev ve velké míře, hrozí tvorba trhlin
existuje velké množství doplňků pro detaily, poplastované klempířské prvky	detaily jsou poměrně pracné
jsou odolné vůči účinkům UV záření	odolné vůči účinkům UV záření pouze s vhodnou povrchovou úpravou
malé nároky na údržbu	pásy potřeba pravidelně kontrolovat, případně včas opravovat přesahy, detaily, ale i celý povrch, pokud dojde k porušení asfaltové vrstvy pásu
náchylnější na poškození kvůli menší tloušťce a kladení v jedné vrstvě	větší tloušťka asfaltových krycích vrstev a kladení ve více vrstvách zajišťuje větší odolnost proti mechanickému poškození
kvůli kladení v jedné vrstvě je nutná dokonalá kladečská práce, a následná kontrola těsnosti hydroizolace	i u asfaltových pásů je třeba pečlivé kladení, ale v případě netěsnosti vrchního pásu je většinou pod ním ještě jeden spodní pás
některé typy fólií (PVC-P) nesnášenlivost s asfaltem a tepelnými izolacemi z polystyrenu	pásy se snášejí prakticky se všemi materiály ve střeše

Mezi nejčastěji používané hydroizolační fólie se řadí termoplastické fólie typu PVC-P. Termoplastické fólie mají tu vlastnost, že vlivem horka (horkého vzduchu) dojde k aktivaci jejich povrchu, zjednodušeně řečeno ke změknutí povrchu. To se využívá při



svařování přesahů fólií, kdy se přesahy nahřejí horkým vzduchem a přitisknutím k sobě dojde k jejich vzájemnému spojení. Tento proces se nazývá horkovzdušné svařování. Další charakteristikou termoplastických fólií, jak už ostatně z druhé poloviny názvu vyplývá, je jejich plastické chování. Při protažení fólie nedochází k tzv. vratnému efektu, ale fólie zůstává po protažení v nové pozici, případně se vrátí pouze nepatrně.

Při výrobě PVC-P fólií se používají dva druhy změkčovadel [21]:

1. monomerická (mPVC-n) – mají tu nevýhodu, že negativně reagují při styku s asfaltem a polystyreny, při jejich přímém kladení na tepelnou izolaci z polystyrenu dochází k migraci změkčovadel, narušování povrchu polystyrenu, ale hlavně ztrátou změkčovadel dochází ke křehnutí a praskání samotné fólie. Proto se při kladení takové fólie dává na tepelnou izolaci z polystyrenu ještě separační geotextilie. Z toho vyplývá, že taková fólie se nemůže na polystyren přímo lepit, ale musí se mechanicky kotvit, případně přitížit stabilizační vrstvou,
2. polymerická (mPVC-p) – tato změkčovadla v takové míře nemigrují z fólie, dají se tedy pokládat přímo i na tepelnou izolaci z polystyrenu nebo mohou být v kontaktu s asfaltem.

PVC-P fólie mohou být buď:

- nevyztužené – zhotovují se z nich různé střešní detaily, kdy potřebujeme mít fólii co nejvíce tvárnou,
- vyztužené skelným rounem – při ohybu fólie praská, fólie vyztužené skelným rounem se využívají zejména pro zatěžované systémy střeš, nikoliv pro mechanicky kotvené,
- vyztužené PES mřížkou – tyto fólie se mohou zatěžovat stabilizační vrstvou i mechanicky kotvit.

Fólie mohou mít zesponu nakaširované PES nebo skelné rouno, což se využívá jako separační vrstva při kladení na asfaltové či polystyrenové podklady, zároveň rouno slouží i jako ochranná vrstva při kladení, a jako podklad, který lze lepit pomocí speciálních lepidel.

Jako u každé sanační metody je nutné, aby použití hydroizolačních fólií předcházelo stavebně-technologickému průzkumu objektu. Zejména je třeba znát jaký typ hydrofyzikálního namáhání na objekt působí. Může to být například pouze zemní vlhkost, nebo tlaková voda. Danému namáhání se musí přizpůsobit i skladba povlakové hydroizolace.

Na rozdíl od asfaltových pásů lze u dvouvrstvých systémů z fóliových hydroizolací vytvářet tzv. kontrolní systémy, pomocí kterých můžeme nejen kontrolovat těsnost hydroizolačního souvrství po pokládce, ale především také během provozu stavby, a navíc v případě zjištění poškození hydroizolace a průniku vody nám tento systém umožňuje lokalizovat místo poruchy, a provést opatření proti pronikání vody.



V praxi to znamená, že mezi dvěma vrstvami hydroizolačních fólií (hlavní a pojistné) je ponechána mezera pomocí vložené drenážní vrstvy z plastových. Fólie jsou následně svařeny po určitých vzdálenostech v celky, tzv. sektory. Velikost a celková plocha sektorů závisí na členitosti izolované konstrukce, a má být navržena tak, aby umožňovala v případě poruchy co nejpřesněji lokalizovat místo poruchy, a umožnit sanaci. [21]

Do jednotlivých sektorů jsou osazeny tzv. kontrolní trubice, které pomocí hadic vyústí do interiéru. Pokud během provozu budovy dojde k poruše hydroizolace a pronikání vody z horninového prostředí, dojde k vytékání vody z této hadice, a my pak můžeme lokalizovat sektor, kde k této poruše došlo.

Zároveň těmito trubicemi můžeme do sektoru, kde došlo k průniku vody, vhnět těsnící látku (nejčastěji v podobě gelu) mezi fólie, a zabránit tak dalšímu průniku vody, aniž by muselo dojít k náročnému bourání konstrukcí.

7.6 Konzervační a hydrofobizační úpravy

7.6.1 Nátěry omítek a zdiva

Nátěr povrchu zdiva, ať již omítky betonového, cihelného nebo kamenného líce zdiva, je vrstvou, která je vystavena mechanickému poškození na fasádě i vlivům povětrnosti. Právě zde se nejdříve projevují povrchové jevy jako krystalizace solí, odpar vody, působení světla i tepla a radiace. Je to z fyzikálního hlediska vrstva obětovaná poškozování, a proto musí být často obnovována. [4]

Z fyzikálních vlastností nátěrů se hodnotí:

- propustnost pro vodní páry;
- propustnost pro oxid uhličitý;
- nasákavost (vodotěsnost);
- přídržnost nátěru k podkladu;
- odolnost proti zmrazovacím cyklům;
- odolnost vůči oděru za mokra;
- odolnost vůči UV záření;
- odolnost proti agresivním složkám ovzduší.

V oboru odvlhčení staveb je důležité umožnit vlhkosti co největší odpar ze zdiva a naopak do zdiva propustit co nejméně vody. Z hlediska transportu vlhkosti mezi zdívem a vnějším prostředím jsou proto nejdůležitější dvě vlastnosti – paropropustnost (prodyšnost) a nasákavost (vodotěsnost). [4]

Typy nátěrů:

- vápenné fasádní barvy;
- modifikované vápenné fasádní barvy;
- cementové fasádní barvy;
- silikátové fasádní nátěrové hmoty;
- čistě silikátové fasádní nátěrové hmoty;



- modifikované silikátové fasádní nátěrové hmoty;
- roztokové (rozpouštědlové) fasádní nátěrové hmoty;
- disperzní fasádní nátěrové hmoty;
- silikonové fasádní nátěrové hmoty.

7.6.2 Zpevňující prostředky

Pro zpevnění zdicího materiálu, ložné malty, spárové malty, případně oítek či nátěrů se používá několik typů látek. Cílem je zlepšit strukturní pevnost a přídržnost k podkladu, aniž by došlo ke zhoršení jiných vlastností. U vlhkého zdiva a omítek je nejdůležitější zachování prodyšnosti (paropropustnosti). Nejčastější zpevňující prostředky jsou:

- Silikátové prostředky
- Siloxanové prostředky
- Vápenná voda
- Hydroxid barnatý
- Polymerzní disperze
- Roztoky polymerů

7.6.3 Hydrofobizační prostředky [22]

Hydrofobizace je proces změny povrchu kapilárně aktivních pórů na nesmáčivý. Smáčivost je fyzikální jev způsobující kapilární vsakování kapaliny do pórovité struktury. Pro trvalou hydrofobizaci konkrétní oblasti je třeba použít hmoty, které jsou v materiálu fixovány a dále se samovolně nepohybují.

Hydrofobizace se provádí ve velké většině případů na vnějším plášti stavby pro zabránění průniku srážkové vlhkosti do konstrukce. Výjimečně se provádí v interiérech pro ochranu povrchů v místech ohrožení odstříkem z provozu.

K ochraně materiálů proti stékající a odstříkované vlhkosti se používají prostředky křemíkové chemie. K známým prostředkům se řadí silanoláty, silany a siloxany.

Formy hydrofobizačních prostředků:

- roztoky – v organickém ředidle umožňují dobrý a rychlý průnik prostředku do podkladu. Problémem je nízká viskozita, která neumožňuje selektivní nanesení prostředku a rychlý odpar, kvůli němuž je problémem rovnoměrné nanesení;
- emulze – jsou méně problematické oproti roztokům díky mediu (vodě), které se pomaleji odpařuje a umožňuje kontrolu prosycení podkladu.

Hydrofobizátory nejsou vhodné:

- Na plochách, které vyžadují přetírání, protože povrch je po hydrofobizaci nesmáčivý. Smáčivost lze na krátký čas vrátit použitím smáčedla. Nátěry, které potřebují pro své vyžrání vlhkost (vápenné, cementové), nemůžou na hydrofobizovaném podkladu vyžrát a spojit se s ním;
- Na plochách s vyšší koncentrací solí. Sole krystalizují na povrchu tam, kde se odpařuje voda, která je přinesla. Po hydrofobizaci se podklad pro vodu stává nedostupným a voda se odpařuje za hydrofobizovanou plochou. Tam pak sole krystalizují a krystalický tlak rozrušuje materiál a způsobuje jeho odpadávání.



Poškození se tímto způsobem rozšiřuje na mnohem větší plochu než na povrchu a rozpad je náhlý a neočekávaný.

Hydrofobizace je vhodná tam, kde nedochází ke kontaktu vody pod tlakem. Malým tlakem je myšleno i odstříkávání kapek, kdy kapka je vtlačena do póru i přes odpor kapilární deprese. Pokud je hloubka hydrofobizace malá, je kapka vtlačena až do smáčivé zóny pod povrchem.

Povrchová ochrana je nedostatečná při ochraně vodorovných ploch, tj. římsy, parapety, atiky, nebo šikmé plochy. Nestačí zde nanést na povrch malé množství hydrofobizátoru, ale je nutné např. následné přestříkáním aerosolem.

7.7 Omítky

7.7.1 Základní dělení

Základní dělení omítek, například dle ČSN 73 2310 Provádění zděných konstrukcí [23], rozděluje omítky podle jejich složení, počtu vrstev, povrchové úpravy atd. Toto rozdělení se pochopitelně týká všech omítek. Tématem této práce budou ovšem pouze speciální omítky, především omítky sanační.

Rozdělení omítek dle jejich složení

Pro přehlednost a možnost dalšího porovnání vlastností speciálních omítek je třeba definovat základní druhy omítek podle jejich složení. Termín speciální omítka je dán samozřejmě především jejím použitím. Rozhodujícím kritériem je pojivo omítky.

Tab. 6 Rozdělení omítek dle jejich složení [4]

Typ pojiva	Typ omítky	Druh pojiva	Možnost speciálního použití
minerální	vápenná	vápno, hydraulické vápno	oblast restaurování
	vápenocementová	vápno, cement (poměr obvykle 2:1)	téměř všechny, např. sanační, tepelně izolační, spárovací, akustické, protipožární apod.
	cementová	cement, vápno ve velmi malém množství pro lepší zpracovatelnost	
	sádrová (vápenosádrová)	sádra	restaurování, protipožární
organické	silikonová	silikonová disperze	tenkovrstvé omítky, vysprávký
	disperzní (akrylátová)	akrylátová disperze	
	silikátová	vodní sklo	
	hliněná	jíl	ekologické, zdravé bydlení, restaurování

Sanační omítky a jejich charakteristika

Sanační omítka WTA je definována jako suchá maltová směs s vysokou porozitou a paropropustností při současně velmi nízké vzlínavosti. Tím se jasně vymezuje proti omítkám připravovaným na stavbě za pomoci přísad.



Protože pojem sanační omítka bývá používán poměrně široce, je možno se dále setkat s celou řadou jiných výrobků s tímto názvem. Jako sanační je označována například i sádrová vysprávková malta, malty na sanaci betonu apod. Proto je pro přesnost lepší používat označení „sanační omítka WTA“. Toto označení určuje jednoznačně deklarované vlastnosti výrobku.

7.7.2 Podkladní omítka

Porézní omítka pro vyrovnání hrubých nerovností v podkladu – součást sanačního omítkového systému. Vhodná pro omítání vlhkého a mrazem nebo solí poškozeného zdiva (včetně zdiva s nízkou pevností). Určená speciálně pro sanační omítkové systémy ve vnějším i vnitřním prostředí. Aplikuje se strojně nebo ručně v jedné nebo více vrstvách (tloušťka jedné vrstvy minimálně 10 mm). Vykazuje vynikající schopnost ukládání solí pro silně zasolená zdiva. [24]

7.7.3 Kompresní (obětovaná) omítka

Pro snížení obsahu solí ve zdivu byly vyvinuty velmi nasákové porézní omítky, tzv. **kompresní omítky** (obětované). Omítky tohoto typu mohou sloužit ke snížení obsahu solí ve zdivu a jsou po určité době několika měsíců až dvou let odstraněny (obětovány).

7.7.4 Odvlhčovací omítka

Název odvlhčovací omítka bývá používán pro omítky umožňující strukturou a plochou svého povrchu zvýšené odpařování vlhkosti ze zdiva.

7.7.5 Sanační štuk

Lepší je označovat tento druh výrobku jako štuk vhodný i na sanační omítky. Samotný název sanační štuk může vzbudit dojem určitých sanačních schopností tohoto materiálu. Směrnice WTA takový název nepoužívá, předepisuje však vlastnosti povrchových úprav sanačních omítek, především nízký difuzní odpor.

7.7.6 Návrh sanačních omítek a jejich životnost

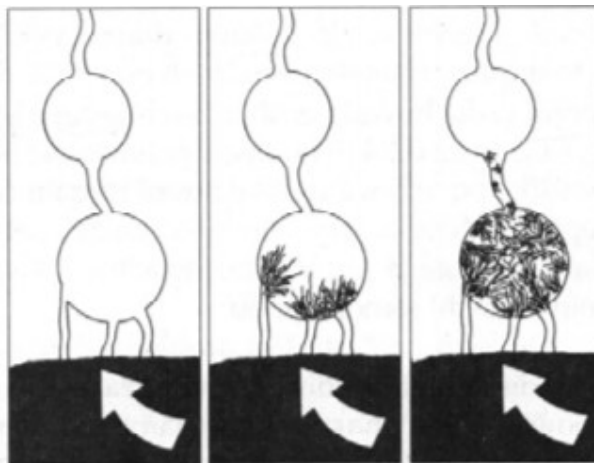
Rozhodujícím kritériem pro úspěšný návrh sanačních omítek je jejich životnost. Obecně platné pravidlo bohužel neexistuje. Kromě okrajových podmínek stavu objektu, na kterém jsou sanační omítky použity, hraje samozřejmě roli typ sanační omítky.

Rozhodující vlastností sanačních omítek za předpokladu splnění všech ostatních kritérií WTA 2-2-04 je jejich dlouhodobá odolnost proti solím, obsažených ve vztlínající vodě.

Vzhledem k nasákovosti kapilár se solný roztok dostává ze zdiva do omítky. Díky vysoké hydrofobitě sanační omítky pronikne voda maximálně do hloubky 5 mm sanační omítky. Voda se odpaří a solil vykrytalizují v pórech omítky. [4]



Na základě zkušeností lze tvrdit, že sanační omítky plní svou funkci v relativně dlouhém časovém horizontu. Životnost sanační omítky je určena zasolením podkladu a také typem pojiva a vytvořenou strukturou sanační omítky. Dnes jsou zkoumány sanační omítky použité před více než patnácti lety. Nejen, že omítky stále plní svou funkci, ale laboratorní rozborů ukázaly, že zdaleka není vyčerpána kapacita pórů pro ukládání solí. [4]



Obr. 54 Schéma ukládání solí v sanační omítce (postupem času) [4]

7.7.7 Povrchové úpravy sanačních omítek

Pro povrchovou úpravu sanačních omítek směrnice WTA předepisuje jednoduchý požadavek, kterým je ekvivalentní difuzní tloušťka (viz. kap. 3.3.4) povrchové úpravy $s_d < 0,2$ m. Vzhledem k tomu, že parametry sanačních omítek se mohou podstatně lišit, je dobré spočítat ekvivalentní vzduchovou tloušťku všech vrstev sanační omítky. Ta se může pohybovat v rozmezí $s_d = 0,1$ m až 0,24 m při dvoucentimetrové tloušťce omítky. Ekvivalentní vzduchová tloušťka povrchové úpravy nesmí přesáhnout hodnotu u sanační omítky. Proto je lepší používat vždy nátěry s hodnotou nižší, než je předepsané minimum, nejlépe $s_d < 0,1$ m. [4]

Druhým nejčastějším problémem je nasákavost povrchové úpravy. Je třeba zvolit odpovídající druh nátěru, obecně by však v exteriéru neměla být nasákavost barvy vyšší než nasákavost podkladu, v tomto případě sanační omítky.



8 MOŽNOSTI POUŽITÍ JEDNOTLIVÝCH SANAČNÍCH METOD V ZÁVISLOSTI NA MATERIÁLU NOSNÉ KONSTRUKCE A STUPNĚ ZAVLHČENÍ

Pro výběr správné sanační metody je nezbytné mít všechny dostupné informace z průzkumu objektu. Dalo by se říci, že výběr sanační metody je více než otázkou daného materiálu zdiva a jeho stupně zavlhčení, otázkou příčiny zavlhčení. Tento fakt nás může velmi konkrétně navést k dané metodě sanace a uspořít tak nejen náklady na rekonstrukci, ale též čas a v neposlední řadě může vést ke zvýšení životnosti sanace. Pokud správně neurčíme příčinu zavlhčení zdiva, může se velmi snadno stát, že i sebelepší realizace sanační metody na nesprávnou příčinu zavlhčení, může mít až katastrofální důsledky pro stavbu samotnou. Především se jedná například o přesunutí vody do jiných částí konstrukcí a její následné působení. Více o náležitostech průzkumu je uvedeno v teoretické části této práce v kap. 6.

Obecně však platí, že bychom nejdříve měli odstranit zjevné příčiny zavlhčení zdiva a teprve potom řešit jejich důsledky. Jelikož se obvykle jedná o celý souhrn problémů, nevystačíme v praxi jen s jedinou metodou sanace, ale musíme je vhodným způsobem kombinovat. Optimální řešení mnohdy realizovat nelze. V těchto případech je nutné předem informovat investora, abychom předešli přehnaným očekáváním a pozdějším sporům.

Principy sanací spodní části budov lze obecně rozdělit na přímé a nepřímé. Mezi **nepřímé** principy, které snižují hydrofyzikální namáhání konstrukcí, lze zařadit:

- odvodnění základové spáry drenáží;
- tvarování povrchu terénu v okolí objektu;
- vytvoření hydroizolačních clon v horninovém prostředí;
- větrání budov a místností;
- vysoušení vnitřních povrchů konstrukcí.

Nepřímými způsoby lze dosáhnout obrovských úspor stavebních nákladů při prováděných sanačních opatřeních.

Mezi **přímé** metody sanací, které brání vnikání a šíření vlhkosti v konstrukcích, se řadí ochrana:

- vkládáním hydroizolace do proříznuté spáry – metody mechanické,
- napouštěním zdiva chemickými prostředky – metody chemické,
- vzduchovou dutinou,



- elektroosmózou.

Každá metoda je podrobně probrána v teoretické části této práce v kapitole 7.

Souvisí-li zavlhčení zdiva se vzlínáním vlhkosti z podloží nebo zdroj vlhkosti pod terénem nelze odstranit či alespoň snížit vlhkost na přijatelnou míru (např. vzduchovými systémy nebo drenáží), bývá většinou **nutné stěny budovy podřezat a do spáry vložit kvalitní izolaci, případně tuto vodorovnou bariéru proti vodě vytvořit injektáží**, kdy se pomocí vrtů vpraví do stěn izolační roztok. Je-li rekonstrukce staršího domu spojená i se zateplením obvodového pláště, je dodatečná izolace zdiva nezbytná. Jinak by došlo k nadměrnému vlhnutí vnitřního líce zdiva a následnému rozvoji plísní, neboť zateplený plášť obvykle brání odpařování vlhkosti do exteriéru. Navíc v rámci zateplení se realizují i nová plastová vzduchotěsná okna a pokud majitelé dostatečně neodvětrávají prostory, nebo pokud okna nejsou opatřena větracími mřížkami, přispívají nová okna k vlhnutí zdiva a následnému rozvoji plísní.

Při volbě sanačního systému musíme brát v potaz konkrétní prostory a jejich význam, jež mají být před vlhkostí chráněny. Jako pomocné kritérium může sloužit i vzájemný poměr vlhkého zdiva a kubatury místností. Zjednodušeně lze říci, že **větší prostor snese vlhčí zdivo**. Z tohoto pohledu je například absurdní provádět sanaci kostela, tedy halové stavby s občasným pobytem osob, podřezáním stěn s vložením hydroizolace. Přiměřenější je upravit okolní terén, aby k patě zdiva nezatékala voda, a také obnovit či pročistit větrací otvory ve stěnách a klenbách, které odvedou vlhkost z prostoru.

U stavebních památek musíme respektovat požadovanou míru ochrany původních stavebních materiálů nebo konstrukcí.

8.1 Výběr nejvhodnější metody

Při rozhodování o tom, v jakém rozsahu a kterou z metod přiřadit k danému objektu, se stavebník řídí několika zásadními úvahami:

- 1) Vyžaduje využití objektu skutečně zásadní stavební zásah do zdiva?
 - v mnohých případech je možné řešit povrchy pouze „kosmetickým“ způsobem, například aplikací vnitřně hydrofobních utěšňujících hmot. Stav prostředí se však nezlepší a může dojít i k vážnému akumulování vlhkosti v atmosféře a ve zdivu.
- 2) Jaké souvislosti bude mít navrhovaná metoda s dalšími stavebními pracemi? Je reálné tuto metodu použít vzhledem k provozu budovy?
- 3) Neznamená navrhovaná metoda takové zásahy do zdiva, které by byly neslučitelné s jeho historickým (eventuálně památkovým) charakterem? Nebudou ohroženy stavební detaily, štuky, malby apod.?
- 4) Je navrhovaná metoda z hlediska nákladů úměrná hodnotě objektu a jeho využití?

Tyto úvahy tvoří jakési mantinely, mezi které se musí stavebník spolu s projektantem vejít. Stává se, že i jednoznačně vhodný návrh z hlediska technologie je nakonec svržen ze stolu. Projektant tedy často své návrhy vypracovává alternativně, často na úrovni radikálního řešení a na úrovni řešení (dlouhodobě) provizorního.



Následné hodnocení metod je určeno k prvnímu posouzení vhodnosti uvažovaného opatření, nelze je ovšem zaměňovat s objektivním zhodnocením objektů. V příkladu nejsou uvedena základní stavební opatření, která mají odvést „volnou“ vodu od stěn budov (drenáže, vsakovací jámy a rýhy, čerpání z jímek atd.). V těchto případech se jedná o vnikání vody často tlakové a musí být řešeno v rámci technického zařízení budov (TZB).

Ochrana zdiva a materiálů z hlediska napadení biologického a zvýšené salinity je řešena samostatnými technologiemi specializovaných firem

8.1.1 Vzduchové metody

Detailní popis všech možností využití vzduchových dutin je popsán v kap. 7.1.

Hodnocení vzduchových metod obecně

Vzduchové metody jsou zásadními stavebními opatřeními, které vyžadují obvykle zásahy do podlah, terénů, soklové části zdiva atd.

Účinnost je zcela individuální. I velmi radikální systém podlahových dutin propojených vdechy a výdechy s atmosférou dokáže snížit hmotnostní vlhkost ve zdivu o cca 2,5 %.

Pokud jsou dutiny aplikovány v interiérech, je třeba prostory vyklidit. V exteriéru je třeba počítat s nutnou pracovní plochou (zábor).

Vzduchová opatření jsou z hlediska metodiky památkové ochrany velmi vhodná, pokud neznamenají příliš velký zásah do zdiva (chráněné sokly, dlažby atd.) Velmi vhodné je takto ošetřovat například rezné zdivo, plochy s malbami a freskami (tam, kde vlhkost nepřesáhne 6%).

Vhodnost a nevhodnost navrhovaného opatření

Účinnost systému je v případě vzduchových opatření relativně omezená, závisí na možnosti nasycení vzduchu v dutinách. Velký vliv na odvlhčení zdi má i možnost převýšení a dosažení tzv. komínového efektu ve svislých odvedech a přívodech.

Souvislosti s dalšími stavebními zásahy

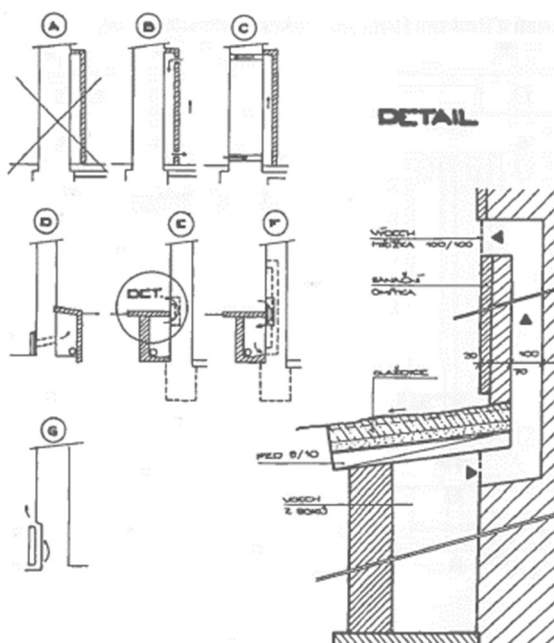
Při aplikaci vzduchových dutin jsou stavební zásahy především u podsklepených budov značné. Vybudování navrženého systému předpokládá celou řadu otvorů do nosných zdí, zprovoznění komínových průduchů, které nejsou užívány (podle možností, případně vybudování nových), a prohloubení rostlého terénu v úrovni suterénu nejméně o 300 mm.

Vybudování plošných dutin má přímý vliv na úpravu dispozice jejím zmenšením. Vhodnost vzduchových opatření pro složitě situovaný městský dům s částečným podsklepením může být nepřiměřený ke vzniklým nákladům. Jiné hodnocení lze však připustit v případech, kdy se jedná o doplnění nebo rehabilitaci nalezeného původního vzduchového systému.



Hodnocení:

- A) Vzduchová dutina v interiéru, neodvětrávaná
- V dutině se postupně kumuluje voda a proniká do stěny dutiny nebo do zdiva. **Metoda nevhodná**
 - Vhodné pouze pro řešení vlhkosti na povrchu stěny v interiéru v důsledku kondenzace.
- B) Vzduchová dutina s přívodem i odvodem do systému; zavlhklý vzduch je přiváděn zpět do místností
- je třeba posoudit mikroklima prostorů z hlediska jejich využívání. **Metoda podmíněčně vhodná**
- C) Dutina v interiéru s přívodem i odvodem vzduchu do atmosféry
- může být spojena s dutinovým soklem. **Metoda doporučená**
- D) E) F) Vzduchová dutina pod úrovní terénu
- Řešení je vhodné za předpokladu odvodu vzduchu do atmosféry. Metody doporučené, nejsou však zásadně vhodné v oblastech s výskytem volné podzemní vody.
- G) Soklové části s využitím vzduchové dutiny
- velmi časté řešení, jehož účinnost je znásobena eventuálním propojením s interiéry. **Tato úprava je doporučena v co nejširším rozsahu.**



Obr. 55 Vzduchové systémy – variantní schéma řešení [7]

8.1.2 Chemické izolační clony

Detailní popis všech možností využití chemických infuzních clon je popsán v kap. 7.2.1.

Vhodnost a nevhodnost navrhovaného opatření

Účinnost metody infuzních clon je přiměřená návrhu, tj. volbě technologie a vhodné infuzní chemické směsi. Principem metody je, že se uzavřou cesty, kterými voda do



zdiva vzlíná (proniká). Metoda přestává být efektivní v těch případech, kdy se jedná o stěny vyrovnávající výškové rozdíly, tj. například u suterénních stěn při terénech.

Při aplikaci infuzních clon je třeba počítat s dalšími stavebními úpravami:

- plošné izolace podlah s příslušným detailem překrytí vstupů;
- nutné stavební rýhy v terénech podél fasád při provádění zvenku, je-li úroveň podlahy pod úrovní terénu a sklon vrtů by již neodpovídal dané technologii;
- soustava vrtů dílčím způsobem v době provádění metody oslabuje zdivo.

Souvislosti s dispozičními úpravami

Provedené infuzní clony nemají zásadní vliv na dispozici budovy. Nejsou však reálné v případech, kdy se předpokládá prezentace režného zdiva.

Nejvíce bývá tato metoda kritizována z hlediska památkové ochrany. V případech dílčího, nebo úplného podsklepení, nemožnosti výkopů a jiných terénních úprav je plošné provedení infuzních vrtů třeba posoudit, zejména z hlediska nákladů – ty neúměrně stoupají. **Tam, kde metoda nahrazuje nebo pouze doplňuje dožilé hydroizolace, je metoda vhodná. V ostatních případech je lepší se přiklonit k úpravám stavebním, nebo elektroosmóze.**

Hodnocení:

- na provedenou „bariéru“ je třeba navázat i plošnou izolací podlah;
- účinnost metody je adekvátní použitím chemické směsi a kvalitě provedení (možno aplikovat i jako součást protiradonového opatření);
- práce jsou bez zásadních stavebních problémů;
- metoda je z hlediska památkové ochrany staveb hodnocena velmi rozdílně.

8.1.3 Mechanické metody

Detailní popis všech možností využití mechanických metod je popsán v kap. 7.2.2.

Vhodnost a nevhodnost navrhovaného opatření

Ve všech případech se jedná o náhradu nefunkčních horizontálních hydroizolací nebo o vytvoření nových hydroizolací. Při správném provedení je účinnost takto provedených izolací vůči vzlínající vodě velmi vysoká. Principem je přehrazení spodního zdiva, které je zasaženo vlhkostí, pomocí dodatečně vkládaných izolací pro vytvoření vodonepropustné hráze. **Výhodou je sanace vlhkého zdiva všech druhů bez omezení tloušťky zdiva.** Navíc je možné provádět řezy jak vodorovně, tak svisle. Zároveň výhodou této technologie je i radonové odstínění.

Hodnocení:

- v zásadě se jedná vždy o radikální zásah do konstrukce. Zhodnotit se musí životnost vkládaných materiálů v porovnání s pracností provádění;
- metody jsou účinné;
- v době provádění musí být přilehlé prostory vyklizeny;
- z hlediska památkové ochrany jsou hodnoceny často jako nevyhovující.



8.1.4 Jílové izolace

Detailní popis všech možností využití jílových izolací je popsán v kap. 7.3.

Vhodnost a nevhodnost navrhovaného opatření

Účinnost utěsnění vrstvami jílu je po jejich aplikaci velmi dobrá. V případě historického zdiva (zejména takového, které umožňuje kapilární vzlínavost a je silně nasákové) jsou těsně přiložené, zvodnělé jíly velmi příznivé – nedochází k radikálnímu rychlému vysušení. Lze tedy říci, že vysychání je velmi dlouhodobé, navíc v době provádění se do zdiva vnáší ještě další vlhkost.

Souvislosti s dispozičními úpravami

Navrhované opatření vrstvami jílu je přímo závislé na zásadních stavebních zásadách do terénu, eventuálně podlah. Ukládání jednotlivých vrstev předpokládá vytvoření podélných dutin, jejichž hloubka by měla korespondovat se základovou spárou objektu. Tyto úpravy se stávají často radikální překážkou použití jílových izolací. Naopak nutné podélné stavební rýhy (výkopy) mohou být vhodnými podmínkami pro další instalační a stavební úpravy (ukládání drenáží apod.). V žádném případě se těmito izolacemi neřeší plochy podlah, které musejí být izolovány proti zemní vlhkosti. Dále se neřeší odsun vlhkosti ve zdivu již nahromaděné.

Obecně lze říci, že navrhované dodatečné jílové izolace neomezují dispoziční úpravy.

Jílové izolace jsou vhodné zejména u památkově chráněných objektů jako rehabilitace a obnova původních opatření a jako jejich doplněk. Stavební náklady na tato opatření nejsou relativně vysoké (dominantní jsou práce zemní). Zvláště vhodná jsou tato opatření u izolací kleneb a stropů pod úrovní terénu, prostor v pevnostních valech atd. Jílové izolace dožívají tím rychleji, čím častěji se střídají vlhkostní a tepelné podmínky – mají znásobenou životnost trvalým zavlhčením.

Hodnocení:

- izolace stěn kleneb apod. znamená značné zemní práce, které mají přímý vliv na provoz;
- účinnost je z hlediska pronikání vlhkosti a často i volné vody velmi příznivá – je zachována přirozená vlhkost stavebních materiálů;
- opatření často znamenají velké (nákladné) zemní práce;
- jílové izolace jsou z hlediska památkové ochrany budov vhodné (i s tím, že se často jedná o rehabilitaci původních systémů).

8.1.5 Metody elektroosmotické

Detailní popis všech možností využití elektroosmotických metod je popsán v kap. 7.4.

Vhodnost a nevhodnost navrhovaného opatření

Účinnost instalovaného systému je dána projektem, tzn. rozsahem odvlhčovaného zdiva. Autor návrhu musí posoudit, které oblasti zdiva a jak provlhčené zdivo lze tímto opatřením vysušit. Elektroosmóza nejenom vytváří prevenci proti dalšímu zavlhčení, ale



také „odsouvá“ vodu ve zdivu nahromaděnou. V tom je metoda jedinečná, srovnatelná podmíněně pouze s dokonalým vzduchovým systémem. Jedním opatřením z jedné strany zdiva dojde k vysušení v celém průběhu a celé tloušťce. Bez problému jsou sanovány i stěny pod terénem.

Aplikace metody nemá žádné souvislosti se stavebními pracemi. Provádí se bez výkopů s tím, že uložení kladných elektrod například na zdech v přízemí jsou zajištěny a vysušovány i zdi v suterénech.

Souvislosti s dispozičními úpravami

Po dokončení prací při instalaci systému nejsou žádné požadavky na úpravu dispozičního řešení v rámci rekonstrukčního návrhu. Jsou-li součástí stavebních (instalačních) úprav také vyžděné rozvodné kanály, musí se jejich ukládání provádět až po jejich dno.

Metoda elektroosmózy je vhodná zejména u složitých, komplikovaně podsklepených domů v městské zástavbě. Díky své zásadní výhodě, kterou je povrchové řešení (elektrody žádným způsobem nevstupují do zdiva), je tento druh odvlhčení přijatelný pro památkově chráněné budovy. Je vhodný také tam, kde je požadováno režné zdivo. Vysušovací efekt začíná ihned a je prakticky trvalý.

Hodnocení:

- elektroosmotické metody mají minimální souvislosti s ostatními stavebními pracemi;
- účinnost je možno korigovat až k absolutnímu vysušení;
- provádění se uskutečňuje na klíč, práce jsou technicky ukončené po realizaci metody;
- metody jsou z hlediska památkové ochrany velmi vítané.

8.1.6 Sanační omítky

Detailní popis možností využití sanačních omítek je popsán v kap. 7.7.

Vhodnost a nevhodnost navrhovaného opatření

Aplikace těchto omítek je často jediným opatřením z hlediska vlhkosti, téměř vždy však doplňujícím. Účinnost těchto omítek je i v případech vyššího zasolení (agresivní soli se v určitých vrstvách omítek ukládají a neprostupují na povrch). K sanační omítce je tedy vhodné se přiklonit až po provedení hydroizolace zdiva např. podřezáním stěn. Sanační omítka bude dále pomáhat zdem odvést snadněji svojí zabudovanou vlhkost. Pokud nelze zdroj vlhkosti efektivně a ekonomicky odstranit a její přítomnost nebrání bezpečnému a komfortnímu a hygienickému užívání stavby, lze použít sanační omítku jako trvalé odvětrání vlhkosti ze zdiva.

Souvislosti s dispozičními úpravami

Po dokončení prací při provádění sanačních omítek nejsou žádné požadavky na úpravu dispozičního řešení v rámci rekonstrukčního návrhu. Je nutné zpravidla počítat pouze



s větší tloušťkou omítek, které mohou způsobit komplikace při řešení detailů například u osazení oken, nábytku apod.

Hodnocení:

- v případě, že stav zdiva umožní pouze sanační omítky, je toto řešení ze všech hledisek velmi účinné a příznivé;
- některé druhy sanačních omítek se svým složením blíží klasickým historickým omítkám a jsou tedy vhodné i z hlediska památkové ochrany budov.

8.2 Předběžný výběr typu odvlhčení

Pro předběžné rozhodovací tabulky byly vybrány obvyklé charakteristické skutečnosti:

- zdivo budovy je zavlhlé trvale a rozsah poruch je vlivem dešťů vždy dočasně zvětšen, není však zásadně ovlivňován;
- u podsklepených budov je zdivo suterénu třeba odvlhčovat;
- příčinami poruch nejsou závady dešťových svodů, instalace a zatékání z vadně provedených chodníků zaplavení povodněmi apod.

Takovéto radikální zjednodušení problémů samozřejmě nemusí často odpovídat všem skutečnostem. V tomto smyslu jsou uváděné „cesty“ v tabulkách orientační.

Legenda k rozhodovacím tabulkám:

- H** **Horizontální izolace zdiva** – vytvoří náhradu za izolace dožilé nebo částečně funkční, nejčastěji v úrovni těsně nad horní hranicí základů. Izolace musí navazovat na podlahové a svislé izolace. Je možné navrhovat také novou izolaci. V tabulkách chápeme tento typ izolace jako mechanické metody, nebo infuzní clony.
- S** **Svislá izolace zdiva plošná** – neexistující, porušená, nebo dožilá hydroizolace zdí. Toto řešení předpokládá provádění pracovních výkopů. V tabulkách chápeme tento typ izolace jako hydroizolační stěrky a omítky, plošné pásy a kombinaci s úpravami vzduchovými.
- E** **Elektroosmotické metody** – voda která je do zdiva naakumulovaná a která do něj proniká zejména z podzákladí. Řešení předpokládá zabudování kladných a záporných elektrod.
- V** **Vzduchové úpravy** – úpravy které vytvářejí dodatečné vzduchové dutiny v nichž proudí vzduch a do kterých přestupuje voda z ploch zdiva. Dutiny jsou například plošné, tvoří samostatnou vrstvu nebo jsou tvořeny soustavou podélných kanálků. Ve všech typech dutin bude zajištěno proudění vzduchu.
- P** **Povrchové úpravy v interiérech** – nové omítky, často s difuzními vlastnostmi, jsou téměř vždy součástí kombinací radikálních odvlhčovacích úprav.



8.2.1 Rozhodovací tabulky

Tab. 7 Samostatný řadový bytový dům postavený v rovině [25]

1. Samostatný řadový bytový dům postavený v rovině						
	H	S	E	V	P	
Zdivo kamenné nebo smíšené, přízemí určeno pro bydlení, komerční účely	~		●	●	●	Možnost horizontální izolace zdi dle stavu zdiva
Zdivo cihelné, Přízemí určeno pro bydlení, komerční účely	●○		●		●○	

Tab. 8 Samostatný bytový dům, podsklepený [25]

2. Samostatný bytový dům, podsklepený						
	H	S	E	V	P	
Suterény určené pro komerční účely (byt), Nemožnost terénních zásahů	●○		●	●	●○	Zdi přízemí – horizontální izolace
	X		●	X	●	Suterén utěsněn, event. dutinová úprava
Suterény určené pro komerční účely, Terén umožňuje stavební úpravy	●○	●	●	●	●	Všechny možnosti

Tab. 9 Řadový bytový dům podsklepený [25]

3. Řadový bytový dům podsklepený						
	H	S	E	V	P	
Suterény určené pro komerční účely, nebo jako součást bytů – nemožnost odkopů chodníků (dvora)	~○	●	●	~	●○	Stěny suterénů obloženy šachovnicovitě navrženými infuzemi nebo utěsněním
Suterény jako součást bytů, terén umožňuje odkopy	●○	●	●	●	●○	Chemická clona řešena z výkopů nebo z interiéru

Tab. 10 Nebytová budova (kostel, úřad...) nepodsklepená [25]

4. Nebytová budova (kostel, úřad...) nepodsklepená						
	H	S	E	V	P	
Zdivo kamenné nebo smíšené, Využívání občasné – celková rekonstrukce	~○		~	●	●○	Použití chemických clon, podmíněno stavem zdiva
Zdivo cihelné, Využívání občasné – řeší se pouze odvlhčení	●○		●	X	●○	Realizace dutin pouze za předpokladu celkové rekonstrukce



Tab. 11 Nebytová budova (kostel, úřad...), podsklepená [25]

5. Nebytová budova (kostel, úřad...), podsklepená						
	H	S	E	V	P	
Možnost odkopů	~	●	●	●	●○	Vytvoření horizontální izolace je podmíněna stavem a složením zdiva
Terén neumožňuje stavební úpravy	●○		●	X	●○	Suterénní zdi budov řešeny utěšujícími šachovnicovitými infuzními vrty nebo vzduchovou dutinou

Grafické značky:

- vhodná metoda ●
- nehodná metoda ○
- podmíněně vhodná metoda ~
- nehodná nebo podmíněně vhodná u památek X

8.3 Multikriteriální srovnání jednotlivých metod sanace

Srovnávat jednotlivé sanační metody dle vybraného kritéria je obtížné. Objekt od objektu se liší velikostně, materiálově, dle stupně zavlhčení, okolního terénu a zároveň se liší i příčiny vlhkosti zdiva v objektu, požadavky na užívání vnitřních prostor, požadavky investora apod. Nelze tedy téměř nikdy stoprocentně říci, která metoda je neoptimálnější z hlediska technického a zároveň z hlediska ekonomického. Vždy se musí ustanovit vzájemný konsenzus v návrzích mezi projektantem a investorem.

Rovněž ceny za sanaci běžného metru jsou velmi individuální a záleží na spoustě parametrech. V následující tabulce naleznete základní srovnání jednotlivých metod a k nim uvedené základní výhody, nevýhody a orientační cenu za metr běžný.

Tab. 12 Srovnání jednotlivých sanačních metod ([17] [7] [25] [4] [10] [3])

Metoda sanace	Cena bez DPH	výhody	nevýhody
Probourávání zdiva ručně	3250 Kč/m ² [26]	nepřístupná místa	pracnost, radikální zásah do zdiva
Podřezávání zdiva řetězovou pilou	1950 Kč/m ² [26]	nejnižší cena z mechanických metod	zdivo s průběžnou spárou, radikální zásah do zdiva
Podřezávání zdiva lanovou pilou	3750 Kč/m ² [27]	všechny typy zdiva	cena, chlazení vodou, radikální zásah do zdiva
Zarážení izolačních plechů	3300 Kč/m ² [27]	rychlost provádění	zdivo s průběžnou spárou, radikální zásah do zdiva



Injektáž – cihelné zdivo	2800 Kč/m ² [26]	menší zásah do zdiva, památkově chráněné budovy	nižší účinnost, nižší životnost
Injektáž – smíšené zdivo	3050 Kč/m ² [26]	menší zásah do zdiva, památkově chráněné budovy	nižší účinnost, nižší životnost
Tlaková injektáž – cihelné zdivo	3250 Kč/m ² [28]	menší zásah do zdiva, vysoce zavlhčené zdivo, památkově chráněné budovy	nižší účinnost, nižší životnost
Tlaková injektáž – smíšené zdivo	3850 Kč/m ² [28]	menší zásah do zdiva, vysoce zavlhčené zdivo, památkově chráněné budovy	nižší účinnost, nižší životnost
Tlaková plošná injektáž – cihelné zdivo	5200 Kč/m ² [28]	jednostranně přístupné zdivo, vysoce zavlhčené zdivo	nižší účinnost, nižší životnost
Tlaková plošná injektáž – smíšené zdivo	5620 Kč/m ² [28]	jednostranně přístupné zdivo, vysoce zavlhčené zdivo	nižší účinnost, nižší životnost
Rubová injektáž	6000 Kč/m ² [28]	jednostranně přístupné zdivo, tlaková voda	vysoká cena
Elektroosmóza	4500 Kč/m ² [29]	šetrná metoda, památkově chráněné budovy	náročnost na vstupní parametry zdiva
Vzduchoizolační systémy	-	tradiční metoda, památkově chráněné budovy	nízká účinnost



9 KONKRÉTNÍ ŘEŠENÍ SANAČNÍ METODY PRO DANÝ OBJEKT

9.1 Problematika, historie, průzkum

Předmětem posouzení je stávající objekt Kulturního Zařízení v ulici Komenského č.p. 202 v obci Krupka.

V suterénu objektu i v některých částech 1. NP objektu se dlouhodobě vyskytují vlhkostní poruchy na vnitřních i obvodových stěnách. Vlhkostní poruchy se projevují odpadáváním omítky a malby, dále výskytem vlhkých a plísňových map a tvorbou výkvětů solí. Nejvýznamnější vlhkostní poruchy se vyskytují v suterénu objektu, kde je prakticky veškerá omítka na stěnách zdegradovaná a poškozeno je také samotné cihelné zdivo (Foto /1/ a /2/).

V následující praktické části diplomové práce se budu zabývat odborným posouzením příčin vlhkostních poruch daného objektu. Po provedení odborného posudku následně vypracuji koncepční návrh odstranění závad spodní stavby.

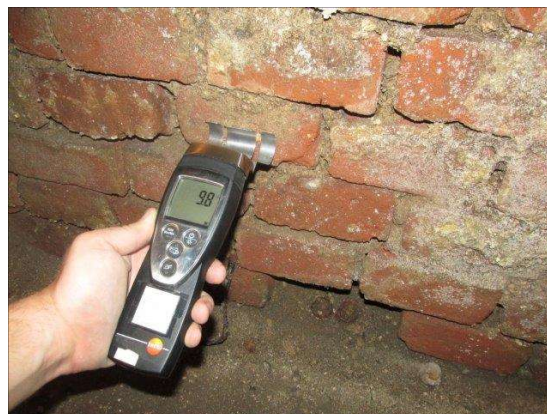
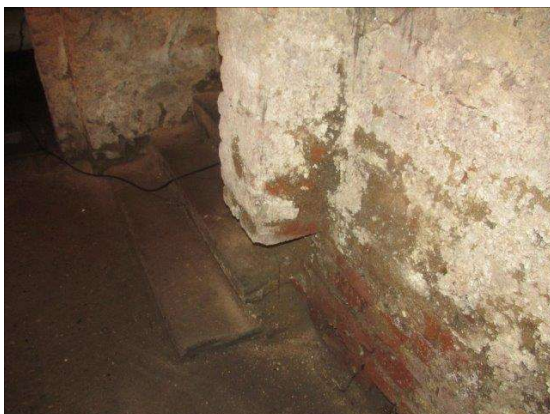


Foto /1/ Vlhkostní poruchy v interiéru objektu

Foto /2/ Vlhkostní poruchy v interiéru objektu

Úkolem každého odborného posudku je posouzení zjištěného stavu předmětných konstrukcí a příčin vlhkostních poruch.

9.2 Průzkum objektu

Průzkum předmětného objektu nacházejícího se na p.č. 214 (k.ú. Bohosudov) proběhl dne 4.8.2017. Během průzkumu byly provedeny celkem tři sondy. Dvě v interiéru objektu v prostorách suterénu, třetí sonda byla vykopána vně objektu. Zároveň bylo během průzkumu provedeno orientační měření vlhkosti konstrukcí příložným vlhkoměrem a byla pořízena fotodokumentace.

9.3 Stručný popis objektu

Předmětným objektem je Kulturní Zařízení Olympie v ulici Komenského č.p. 202, 417 42 Krupka (Obr. 56). Jedná se o objekt, který svou východní stranou přiléhá k navazující zástavbě. Objekt má dvě nadzemní podlaží a jedno podzemní podlaží. Stávající objekt



je nevyužívaný, ale plánuje se jeho postupná adaptace. Vstup do objektu je tvořen jedním vchodem na severní části objektu a jedním vchodem na západní části objektu (Foto /3/). Další čtyři vchody jsou umístěny na jižní straně objektu.

Celý objekt je rozdělen na tři hlavní sekce. Západní část byla využívána jako restaurace se sociálním zařízením a kuchyní. Prostřední část byla využívána jako víceúčelový sál a východní část pak jako jeviště a jeho zázemí.

Ze stavebního hlediska se dle podkladů domnívám, že objekt byl v minulosti 3x stavebně upravován. V objektu se nacházejí celkem tři typy konstrukčních systémů. V západní části je užito převážně klenutých stropů. V prostřední části, která slouží jako víceúčelový sál je užito hardiskových stropů do traverz. Poslední východní část, sloužící jako jeviště a jeho zázemí je pravděpodobně nejmladší. Strop nad 1.PP je železobetonový trámový.

Západní a prostřední část objektu je zastřešena valbovou střechou. Ve východní části je užito plochých střech s hlavní hydroizolační vrstvou z asfaltových pásů.

Svislé nosné zdivo je smíšené, různých tlouštěk. Jedná se o kombinaci především cihelného a kamenného zdiva. Uliční strana fasády 1. NP je obložena keramickými dlaždicemi. Ostatní části objektu jsou omítnuté.

Objekt je osazen do poměrně svažitého terénu, který klesá podél své příčné osy podél ulice Dlouhá.



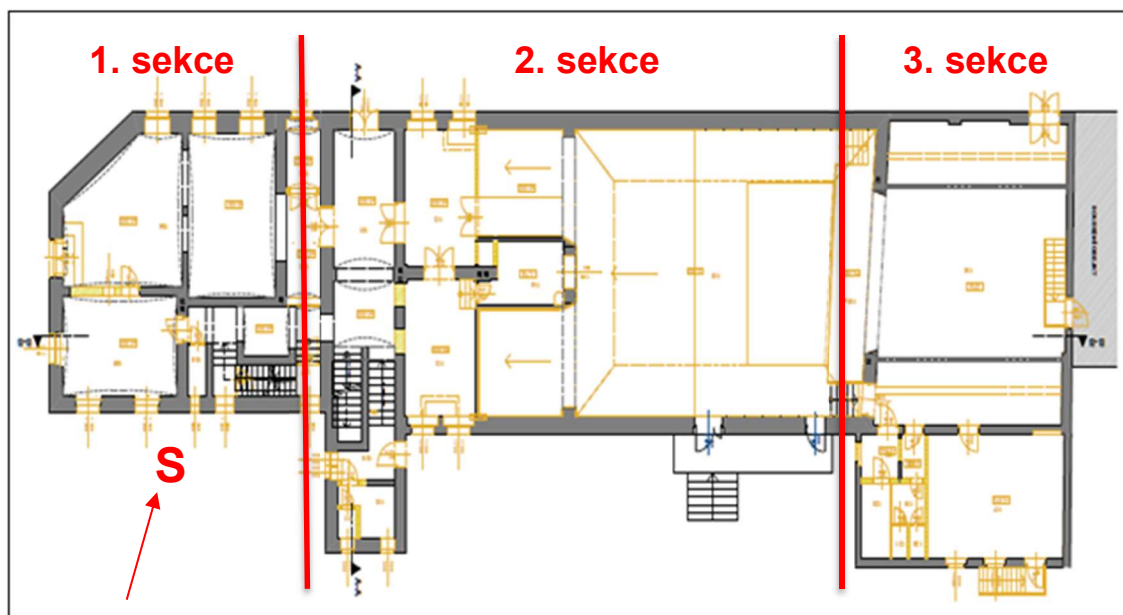
Obr. 56 Letecký pohled s vyznačením objektu [39]



Foto /3/ Aktuální pohled na objekt



Půdorys 1.NP s rozdělením na jednotlivé sekce (Obr. 57).



Obr. 57 Půdorys 1.NP – současný stav a bourací práce s rozdělením na tři části

9.4 Interiér objektu

Během průzkumu byly v první fázi prohlédnuty interiéry objektu se zaměřením na vlhkostní poruchy. V interiéru bylo provedeno orientační měření vlhkosti zdiva pomocí příložného vlhkoměru.

9.4.1 1.NP

V přízemí objektu (1.NP) se při západní straně objektu (1. sekce), tedy na rohu ulic Komenského a Dlouhá nachází bývalé restaurační zařízení s kuchyní a sociálním zařízením. Směrem na východ se dále nachází multifunkční hala a prostory jeviště, na které volně navazují šatny a sociální zařízení.

Vlhkostní poruchy byly zaznamenány v místnosti č. 1.03 označované jako sklad. V místnosti je na omítce patrná vzlínající vlhkost, zejména na stěně mezi místnostmi 1.03 a 1.04, která sahá až ke stropu. V místnosti můžeme na stěnách vidět odpadávající malbu a různé výkvěty solí. V těchto místech proběhlo orientační měření vlhkosti zdiva příložným vlhkoměrem. Zjištěná vlhkost se pohybovala v rozmezí 9-18 % hmotnostní vlhkosti materiálu. (Foto /4/ - /7/).

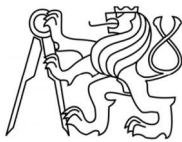


Foto /4/ Vlhkost u nadpraží okna



Foto /5/ Orientační měření vlhkosti zdiva



Foto /6/ Vlhkostní mapy na omítce



Foto /7/ Orientační měření vlhkosti zdiva

9.4.2 1.PP (suterén)

V suterénu je na první pohled patrné, že při realizaci nebylo užito žádného typu hydroizolace. Sklep byl patrně při výstavbě koncipován jako skladový prostor. Vlhkostní poruchy jsou zde značně rozsáhlé. Na většině stěn jsou zdegradované nebo zcela chybějící omítky. Cihelné zdivo je místy na první pohled značně vlhkostně zasaženo. Vlhkost obvodových stěn místy vzlíná až do klenutých stropů

V suterénu objektu jsou vlhkostní poruchy podstatně rozsáhlejší. Na většině stěn již omítky zcela degradovali. Na všech stěnách, včetně vnitřních, je pak evidentní výskyt plísní. Za účelem zjištění původní vodorovné hydroizolace a ověření skladby byly provedeny dvě sondy do podlahy suterénu. Sonda S1 byla provedena v místnosti č. 007. Ve skladbě podlahy nebyla nalezena žádná hydroizolační vrstva. Původní podlaha suterénu v tomto místě byla pravděpodobně z plných pálených cihel. Během let byla na tuto vrstvu provedena aktuální betonová mazanina (Foto /10/).



Foto /8/ Vlhkostní poruchy zdiva v 1.PP



Foto /9/ Pohled do sondy S1

U mnohých stěn došla degradace cihelného materiálu do takové fáze, že se v patách pilířů začaly rozpadat jednotlivé pálené cihly (Foto /8/ a /10/). V těchto místech byla změřena hmotnostní vlhkost kolem 17 % (Foto /11/). Sonda S2 byla provedena v místnosti č. 018. Sondou bylo prokázáno, že ani v této „novější“ části objektu se nevyskytuje vodorovná hydroizolace. Skladbu podlahy zde tvoří betonová mazanina. Betonová mazanina je složena pravděpodobně ze spodní vrstvy škvárobetonu a podlahové betonové mazaniny (Foto /13/).



Foto /10/ Vlhkostní poruchy pilířů



Foto /11/ Orientační měření vlhkosti zdiva



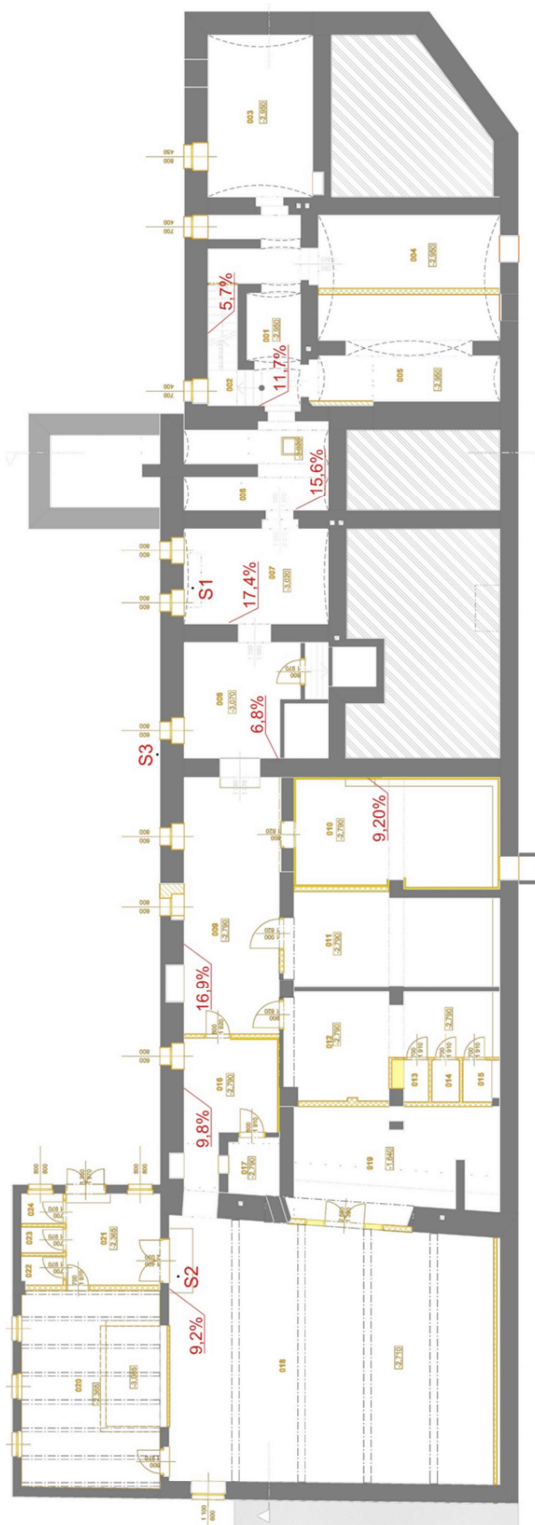
Foto /12/ Vlhkostní poruchy v suterénu



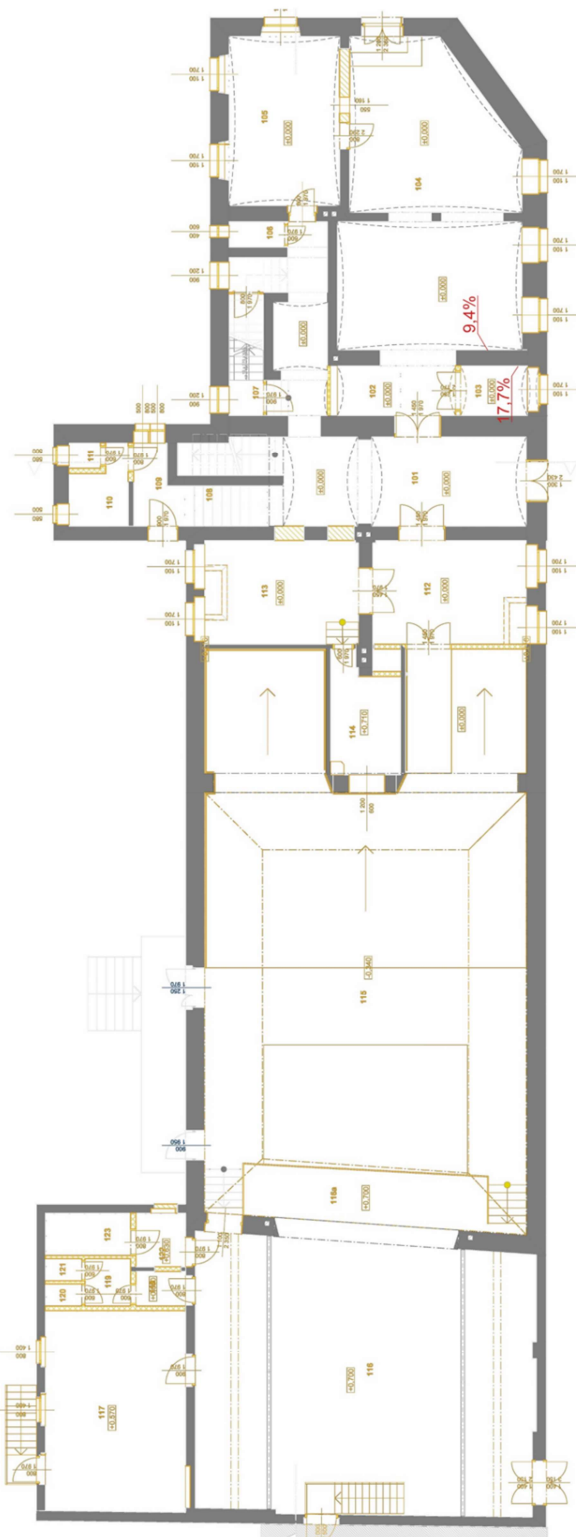
Foto /13/ Pohled do sondy S2



Polohy sond a místa měření vlhkosti pomocí příložného vlhkoměru jsou zobrazena na Obr. 58 a Obr. 59.



Obr. 58 Vyznačení měření vlhkosti a sond 1.PP



Obr. 59 Vyznačení měření vlhkosti 1.NP



9.5 Exteriér objektu

9.5.1 Uliční část objektu

V uliční části severní strany objektu je obvodové zdivo v kontaktu s chodníkem. Výšková úroveň chodníku je téměř totožná s úrovní podlahy 1.NP. Severní strana objektu přiléhá k hlavní ulici Komenského. Většina uliční fasády je obložena keramickým obkladem, na kterém se místy projevuje vzlínající vlhkost v podobě zelené plísně (Foto /14/). Východní část uliční fasády je opatřena omítkou a sokl je obložen kamenným obkladem.

Při realizaci chodníku byla ke stěně objektu vložena nopová fólie, která je však místy ukončena pod zámkovou dlažbou nebo zcela chybí. Chodník pravděpodobně není vyspádován směrem od objektu. Okapové svody jsou napojeny do dešťové kanalizace (Foto /15/).



Foto /14/ Pohled na severní část objektu



Foto /15/ Ukončení okapového svodu a nopová fólie u spodní části objektu

9.5.2 Západní část objektu

V západní části objektu se nachází vstup do bývalého restauračního zařízení (Foto /16/). V těsné blízkosti objektu se nachází jeden vzrostlejší smrk, který zastiňuje bezmála polovinu čelní fasády objektu. Fasáda na západní straně objektu je opatřena omítkou, na které se objevují vlhkostní poruchy. (Foto /17/).



Foto /16/ Pohled na vstup do objektu na



Foto /17/ Výkvěty solí v úrovni podlahy



9.5.3 Dvorní část objektu

Kvůli svažitosti terénu směrem od severu k jihu je úroveň podlahy 1.NP navýšena cca 1,2 m nad terénem. Jižní fasáda je půdorysně proměnlivá. Na jižní části objektu se vyskytují dvě přístavby, ve kterých jsou umístěny především sociální zařízení.

Za účelem ověření přítomnosti svislé hydroizolace suterénu byla provedena sonda S3. Poloha sondy je vyznačena na Obr. 59. Z provedené sondy je patrné, že u zdiva suterénu není aplikována žádná forma svislé hydroizolace. Hloubka sondy činí téměř 0,5 m (foto /18/). Ve výkopu bylo nalezeno několik úlomků plných cihel. Pravděpodobně se ale nejedná o pozůstatky izolační přízdívky, ale zásyp stavebním rumem.

Fasáda ve dvorní části objektu je opatřena omítkou. V úrovni suterénu a podlahy 1.NP jsou patrné vlhkostní poruchy suterénního zdiva. Nejvážnější poruchy ve formě výkvětů solí a vlhkostních map od vzlihané vlhkosti jsou patrné ve výklenu se sociálním zařízením a dvorním vstupem do objektu (Foto /19), místnosti č. 109, 110 a 111.



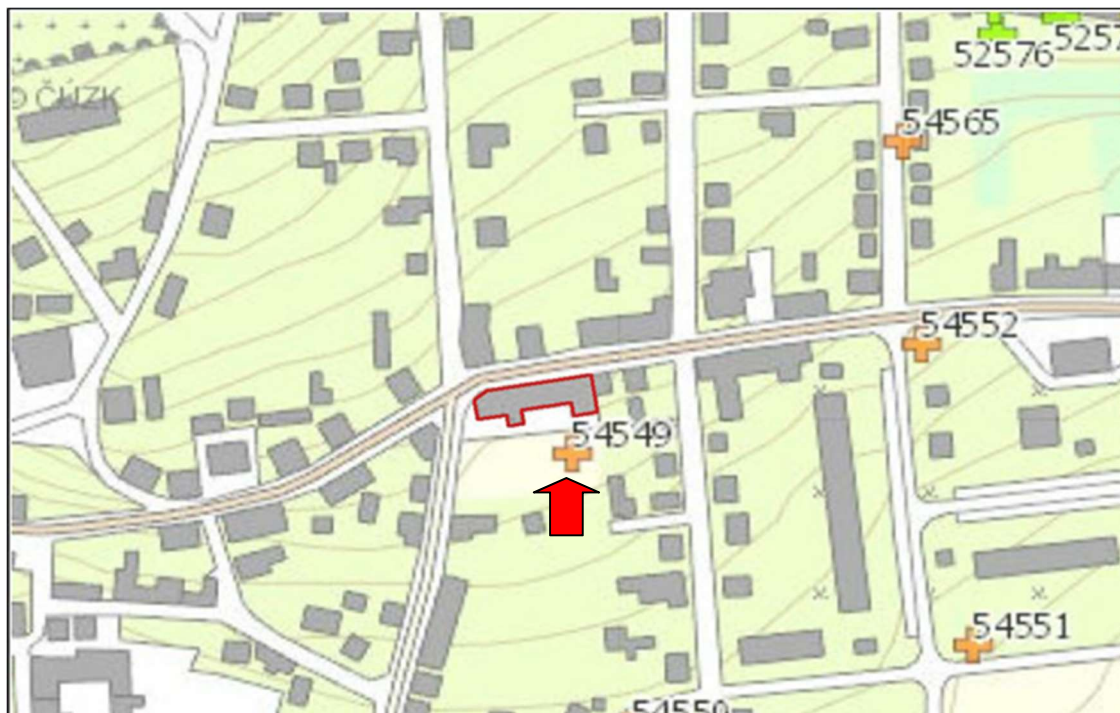
Foto /18/ Pohled do provedené sondy



Foto /19/ Jižní strana objektu s vyznačením nejvíce poškozené fasády

9.6 Hydrogeologické poměry v dané lokalitě

V souvislosti s vlhkostními poruchami v daném objektu byly vyžádány informace o geologickém profilu a výšce hladiny podzemní vody od České geologické služby – Geofond [30]. Ze záznamů o provedených hydrogeologických vrtech bylo zjištěno, že nejbližší provedený vrt, který mapuje podloží, se nachází cca 30 m od objektu (Obr. 60). Zjištěné skutečnosti jsou popsány v následující tabulce (Tab. 13).



Obr. 60 Vyznačení objektu a geologického vrtu [30]

Tab. 13 Údaje z geologického vrtu [30]

	VRT 1 (84430)	
Umístění vrtu	Jižně od objektu cca ve shodné výškové úrovni, vzdálenost cca 30 m	
Provádějící organizace	Krajský projektový ústav Ústí nad Labem	
Rok provedení	1972	
Hladina podzemní vody	3,2 m pod úrovní terénu	
Geologický profil	Navážka štěrkovitý	0 – 0,9 m
	Písečná hnědá hlína	0,9 – 1,2 m
	Slín pevný, zelenošedá	1,2 – 6 m
	Slínovec, tmavě šedá	6 – 7 m

Z výše uvedeného vyplývá, že v okolí objektu lze očekávat hladinu podzemní vody cca 3,2 m pod úrovní podlahy a zároveň, že lze pod objektem očekávat slínovcové podloží.



9.7 Posudek

Ze zjištěných skutečností vyplývá, že dochází k **masivnímu pronikání vlhkosti do objektu**. Zdivo suterénu je téměř kompletně pod úrovní terénu a **v celé jeho ploše se projevuje absence svislé i vodorovné hydroizolace** a vlivem prosakování vody do konstrukcí dochází k **degradaci omítek a cihelného zdiva**. V 1.NP se vlhkostní poruchy projevují jen v malé míře a to v místnosti č. 103.

Při zpracování posudku byly uvažovány následující zjištěné skutečnosti:

- Objekt byl **delší dobu nevyužíván** a samozřejmě také **nebyl vytápěn**. To vše se **významným způsobem podepsalo na** stavu jednotlivých konstrukcí, zejména pak **šíření vlhkosti ve stěnách**.
- Orientační zkoušky měření vlhkosti příložným vlhkoměrem ukázali místy **hmotnostní vlhkost cihelného zdiva téměř 18 %**, přičemž maximální zavlhčení, které je cihelné zdivo schopno pojmout činí 20%
- **Suterénní zdivo není dle provedených sond opatřeno žádnou vodorovnou ani svislou povlakovou hydroizolací**. Vzhledem ke stáří objektu lze předpokládat, že by i jakákoliv původní hydroizolace byla dávno dožilá.
- V uliční části objektu se nachází chodník, který **není vyspádován směrem od objektu**. Chodník je proveden ze zámkové dlažby, tudíž je jeho povrch **propustný pro dešťovou vodu**. **Nopová folie v uliční části je pravděpodobně provedena nedostatečně**. **Místy je ukončena pod terénem a místy zcela chybí**. Předmětný objekt **vytváří vzhledem k umístění hráz** pro stékající vodu z komunikace a chodníku ulice Komenského. Ta v tomto případě **zatéká za nopovou folii až na obvodové zdivo suterénu**.
- V uliční části je zdivo obloženo keramickým obkladem, který je nepropustný pro vodu a zadržuje vlhkost uvnitř zdiva. Vlivem skutečností v předchozím bodě dochází k **vzlínání vlhkosti v místnosti č. 103 až k nadpraží okna**.
- Z informací od České geologické služby – Geofond [30] vyplývá, že **hladina podzemní vody se vyskytuje cca 3,2 m pod úrovní terénu**.
- V 1.PP vykazuje místy cihelné zdivo **vysoké známky degradace**. Zejména v místech rohů a pilířů dochází k **drolení a odpadávání úlomků cihelného zdiva**.
- Suterénní zdivo **je cihelné a smíšené**.

Z výše uvedeného vyplývá, že vlhkostní poruchy zdiva jsou způsobeny absencí hydroizolačního systému spodní stavby. Do zdiva tak **vzlíná zemní vlhkost i srážková voda**, která se ke zdivu dostává z ulice Komenského a ze zpevněných ploch v okolí objektu.

Nelze ovšem ani vyloučit přítomnost spodní vody, která může v některých měsících dosahovat nad úroveň podlahy 1.PP.



9.8 Koncepční návrh nápravných opatření

9.8.1 Všeobecně

Suterén objektu byl již při výstavbě objektu koncipován jako nepobytový. Adaptace objektu uvažuje se zpřístupněním suterénu a jeho využití jako pobytové prostory. V tomto případě bude třeba provést kombinaci aktivní a pasivní hydroizolační ochrany zdiva.

Vzhledem k umístění objektu do terénu a absenci hydroizolačního systému spodní stavby bude třeba provést pasivní hydroizolační opatření v podobě odvodnění ploch přilehlých k objektu a odvodnění základové spáry pomocí drenáže. Považuji za vhodné vyspádování přilehlého terénu směrem od objektu. Vsakující se voda bude odvedena pomocí drenáže.

Vzhledem k absenci hydroizolačního systému spodní stavby nelze však tato opatření považovat za dostatečná a pro plnohodnotné využití vnitřních prostor je nutné aplikovat prvky aktivní hydroizolační ochrany. Tyto opatření spočívají v zamezení pronikání vlhkosti do konstrukcí objektu. Za vhodný systém považuji proto provedení vodorovné hydroizolace v podlaze včetně protažení pod nosným zdivem a její vytažení až po úroveň okolního terénu. Užíváním suterénu se změní jeho tepelně-vlhkostní režim. Suterén bude vytápěn a v prvních měsících po rekonstrukci dojde k masivnímu odpařování vlhkosti ze suterénního zdiva.

Navržené vodorovné řešení hydroizolace je navrženo za předpokladu, že se nachází spodní voda dle kapitoly 9.6 v hloubce 3,2 m. Sonda, ve které byla zjištěna spodní voda byla prováděna v níže položeném místě, než se nachází předmětný objekt, tudíž by zde hladina spodní vody neměla zasahovat do suterénu. Nepodařilo se mi ovšem sehnat informaci, zda v minulosti nedocházelo k zatopení sklepení ve vlhkých měsících roku. V případě, že by docházelo k zatopení sklepa by musel být proveden návrh hydroizolace s opatřením proti tlakové vodě.

9.8.2 Opatření prováděná z interiéru

9.8.2.1 Odstranění původních omítek

Aby bylo umožněno vysychání zdiva, je nutné provést odstranění veškerých interiérových omítek. Odstranění omítek bude provedeno až na nosné zdivo, u kterého budou navíc proškrábnuty spáry do hloubky 20 mm.

Zdivo by bylo vhodné ponechat obnažené po co nejdelší možnou dobu, k dosažení maximálního výsledku vysušování zdiva. Interiérové omítky v místech vlhkostních poruch by bylo vhodné provádět až v poslední fázi rekonstrukce objektu. Bude tím umožněno maximální vysychání zdiva (dostatečná doba vysychání min. 2 roky po provedení exteriérových oprav za současného vytápění objektu). Orientační doba vysychání cihelného zdiva je cca 25 mm za měsíc. Pokud bude zdivo vysychat pouze do interiéru, lze očekávat, že bude schnout cca 3 roky.

Ve fázi dokončování vnitřních povrchů bude provedeno měření aktuální vlhkosti zdiva. Na základě měření bude rozhodnuto o rozsahu provádění sanačních (obětovaných) omítek.



Technologie provádění:

- 1) Odstranění původní omítky.
- 2) Vyčistění spár mezi cihelnými i kamennými bloky.
- 3) Vysoušení zdiva. Je nutné zajistit vytápění objektu, ale také dostatečné větrání.
- 4) Měření vlhkosti zdiva.
- 5) Provádění vnitřních omítek. V místech vlhkostních poruch provedení sanačních (obětovaných) omítek.

9.8.2.2 Odstranění nenosného zdiva

Vzhledem ke změnám dispozice interiéru a vlhkostních poruch zdiva považuji za velmi vhodné nenosné interiérové zdivo odstranit. Jeho sanace je cenově neúměrná realizaci nových příček.

9.8.2.3 Vodorovná hydroizolace

Úvodní rozvaha

Aby bylo zabráněno vztlínání zemní vlhkosti do zdiva, je nutné provedení vodorovné hydroizolace v nosném zdivu. Dodatečnou vodorovnou hydroizolaci nosného zdiva je možné provést několika způsoby:

- a) podřezáním zdiva (postupné vybourávání zdiva, kotoučovou pilou, pomocí diamantového lana)
- b) zavibrováním nerezového plechu
- c) zvodotěsněním stávajícího zdiva pomocí chemické injektáže

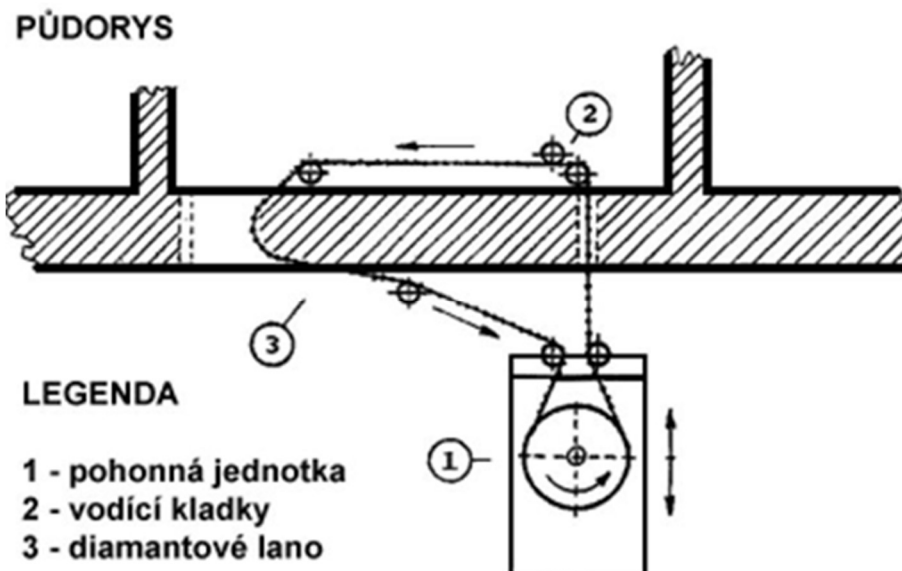
Vzhledem k tloušťce zdiva a k jeho provedení (kamenné zdivo bez průběžné ložné spáry není možné použít technologii zarážení izolačního plechu. Tloušťka zdiva místy rovněž podstatně znemožňuje provedení chemické injektáže. Ta, sama o sobě, rozhodně není 100 % řešením a v těchto podmínkách (veliká šířka zdiva) by byla její účinnost ještě výrazně snížena. Podřezání zdiva tradičními technologiemi (ruční vybourávání) je technologicky velmi náročné a zdlouhavé. Pilu pro kamenné zdivo nelze použít. Z půdorysu 1.PP je patrné, že některé suterénní místnosti jsou zasypané. Technologie podřezání zdiva lze uvažovat pouze v případě, že bude postižené zdivo přístupné z obou stran. Vzhledem ke stavu stávající podlahy a světlé výšce suterénu doporučujeme stávající podlahu vybourat a provést nový podkladní beton a souvrství podlahy.

Popis opatření

Jediným možným řešením je podřezání zdiva nad úroveň nového podkladního betonu v 1.PP pomocí diamantového lana. Tato technologie není ničím omezena a její účinnost je v prostředí netlakové vody (zaručí obvodová drenáž, viz 9.8.3.1) vzhledem ke vkládání povlakové hydroizolace velmi vysoká. Jedinou podmínkou provádění je minimální prostor cca 2 m v interiéru a cca 1 m v exteriéru. V případě nesoudržného zdiva, kdy do



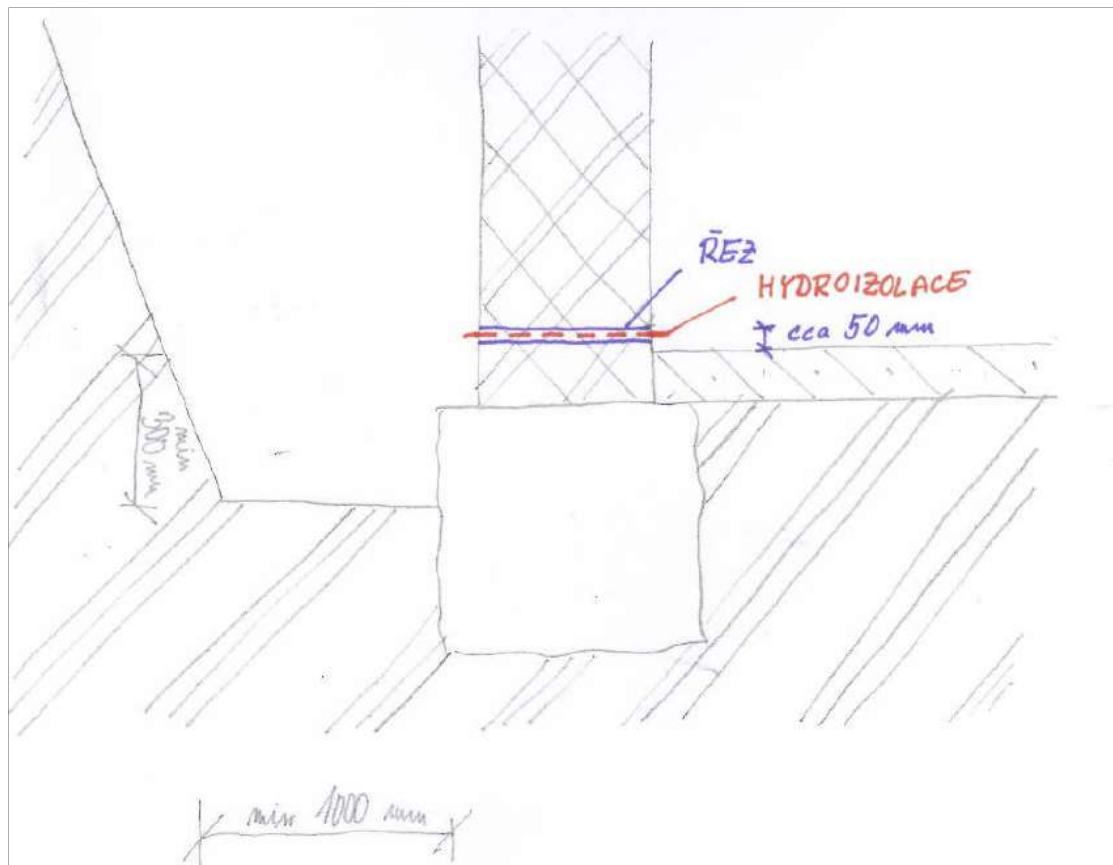
spáry sedá zdivo, je místo povlakové hydroizolace použito zaráženého plechu. V každém případě je zdivo během řezání neustále vyklínováno. Zdivo je řezáno po jednotlivých etapách (dle provádějící firmy a nařízení statika). Po dokončení etapy je vždy spára tlakově vyplněna cementovou maltou.



Obr. 61 Schéma podříznutí zdiva lanovou pilou s diamantovým lanem [31]

Technologie provádění:

- Odstranění omítek v rovině řezu a obnažení instalací.
- Instalace pily, lana, vodících kladek.
- Postupné prořezávání spáry a její vyčištění.
- Vložení hydroizolačního materiálu.
- Zaklínování podřezaného zdiva plastovými klíny.
- Tlakové vyplnění spáry cementovou maltou.
- Odstranění starých, provlhých a prosolených omítek.
- Provedení nových, sanačních omítek a další návazná opatření směřující k odstranění prvopříčin vlhnutí zdiva.



Obr. 62 Podřezání zdiva v řezu

Výše uvedené technologie je možné užít pouze u zdiva, které bude zpřístupněno z obou stran.

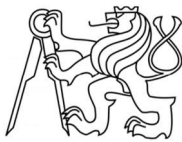
9.8.2.4 Předstěna s větranou mezerou

Úvodní rozvaha

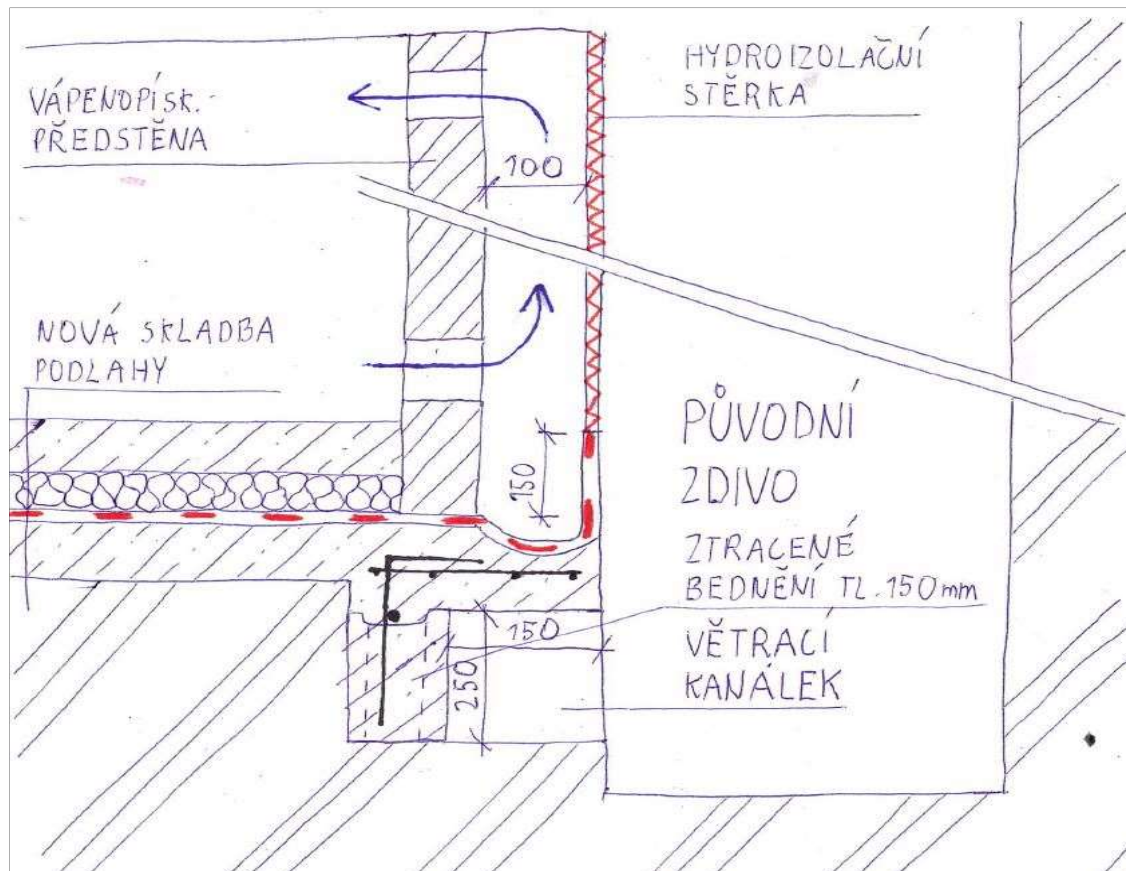
V místech, kde není umožněn přístup k druhé (exteriérové) straně zdiva můžeme způsoby s podřezáním zdiva vyloučit. Kvůli šířce zdiva nepřipadá v úvahu ani chemická injektáž. V případě provádění dodatečné povlakové hydroizolace vznikne problém s napojením na svislou část. Vzhledem k vzniklým skutečnostem navrhuji ponechat stávající svislé zdivo bez dodatečné hydroizolace a provést předsazenou příčku s větranou mezerou.

Popis opatření

Řešením je tedy ponechání stávajícího nosného zdiva bez dodatečné hydroizolace. Nově realizovaná zděná předstěna by měla být z nenasákavého zdiva např. vápenopískových tvárníc. Mezi stávajícím zdívem a novou zděnou předstěnou vznikne min. 100 mm široká vzduchová mezera, která bude ve spodní a horní části napojena na vnitřní vzduch. Vznikne tak pohledově suchá a rovná zeď. V úrovni paty zdiva navrhuji provést odvětrávaný kanálek, který bude zajišťovat vysychání suterénního zdiva. Větrací kanálek bude nutné odvětrat do venkovního prostředí např. Stávající nevyužitě komínové průduchy. V úrovni podlahy bude mezi novou předstěnou a stávajícím zdívem



vytvořen žlábek v podkladním betonu. Tento žlábek bude sloužit pro usazení a umožnění vysychání případného kondenzátu. Stávající zdivo by bylo vhodné natřít hydroizolační cementovou stěrkou pro eliminaci vypařovaných vodních par.



Obr. 63 Předstěna s větranou mezerou

Technologie provádění:

- Odstranění omítek a proškrábání spár stávajícího zdiva.
- Demontáž stávajících podlah a provedení drážky podél stávajícího zdiva.
- Realizace podkladního betonu a ztraceného bednění.
- Nátěr stávajícího zdiva cementovou hydroizolační stěrkou.
- Provedení vodorovné hydroizolace s vytažením na stěnu.
- Zdění nové předstěny z vápenopískových bloků vč. provedení větracích otvorů.
- Realizace nového souvrství podlahy.
- Provedení nových omítek

9.8.3 Opatření prováděná z exteriéru

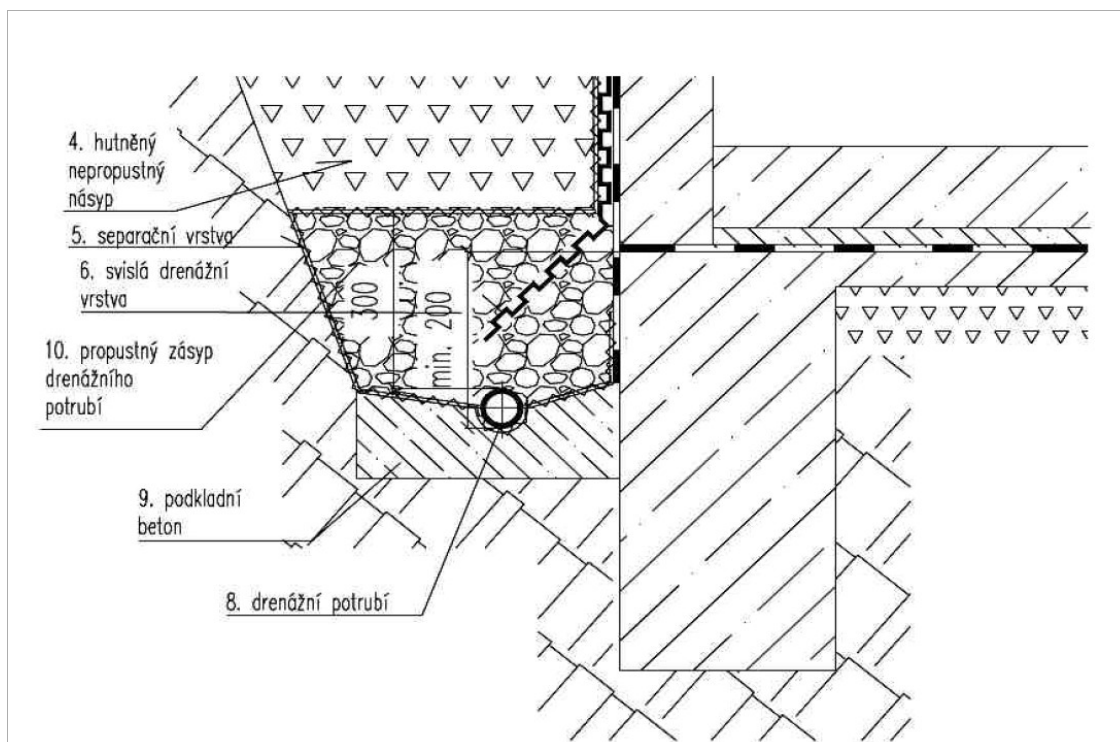
9.8.3.1 Obvodová drenáž

Aby bylo zabráněno pronikání vody (srážkové, spodní) z přilehlého chodníku pod objekt a skrze základové zdivo do obvodových stěn, je třeba po obvodě objektu provést vnější



drenážní systém. Ten zabrání zadržování vody u suterénního zdiva a základů. Významně tedy sníží možnost vztlínání vody základovým zdivem.

Drenážní systém spočívá v obkopání objektu do hloubky min. 300 mm pod úroveň stávající podlahy. V ideálním případě pak k patě základů. V této úrovni se provede betonový žlab ve spádu min. 0,5 %, do kterého se vloží geotextilie a perforované drenážní potrubí o min. průměru 100 mm. Potrubí se zasype štěrskem frakce min. 16/32 mm a obalí se geotextilií, která zabrání propouštění jemných částic do štěrkového drénu a tedy i zanášení drenáže. K obvodovému zdivu se pak položí nopová fólie. Způsob provedení drenáže je patrný na následujícím schématickém obrázku (Obr. 64).



Obr. 64 Schéma paty obvodové drenáže

Technologie provádění vnějšího drenážního systému:

- **Před započítím zemních prací musí být zajištěno na terénu vyznačení tras podzemních vedení inženýrských sítí a jiných překážek. Toto platí i pro trasy inženýrských sítí v blízkosti staveniště, které by mohly být stavební činnostmi narušeny.**
- Toto řešení bude nutné konzultovat se stavebním úřadem. V uliční části bude nutné rozebrat a zabrat stávající chodník.
- Výkop bude realizován až pod úroveň podlahové konstrukce. Doporučujeme provést výkop až na dno základové spáry. **Výkopové práce je nutné provádět po jednotlivých záběrech max. 4 m.** V patě výkopu je nutno zajistit minimální pracovní prostor šířky min. 600 mm (vzhledem k minimální šířce prostoru při provádění podřezání, je ovšem nezbytné vytvořit prostor šířky min. 1000 mm).
- Osazení plastové kalové jímky v místě před napojením drenáže do dešťové kanalizace. Potrubí musí být v místě napojení na kanalizaci opatřeno zpětnou klapkou (ochrana proti zahlcení drenáže vodou v případě vzduší hladiny).



- Očištění podkladů (stěn základů).
- Provedení podkladního betonu (min. C10/15, příčný sklon od objektu min. 3%) na dně výkopu podél objektu i zídky (v různých výškových úrovních), se žlábkem pro uložení drenážních trubek, podélný spád trubek směrem ke kalové jímkce bude min. 0,5 %. Minimální tloušťka podkladního betonu musí být 100 mm, šířka cca 600 mm.
- Osazení systémových kontrolních plastových šachtic, (např. OPTI-CONTROL DN 300), napojení drenážního potrubí do všech prvků systému. Šachtice budou osazeny na začátku drenážních větví, na jejich koncích a v místech odbočení.
- Položení drenáže – plastová perforovaná drenážní hadice (např. FRANKISCHE OPTI-DRÄN), spád potrubí dle provedeného žlábků min. 0,5 %. Průměr potrubí DN min. 100 mm.
- Pokládka profilované HDPE fólie s výškou nopů 8 mm (např. DEKDREN G8). Fólie se položí nopy ke konstrukci zdiva.
- Pokládka desek OSB tl. 25 mm (mechanická ochrana izolace při následném hutnění zásypu stavební jámy).
- Zásyp kamenivem zrnitosti 16–32 mm do výšky 300 mm nad úroveň horní hrany drenážní trubky. Kamenivo obalit filtrační geotextilií hmotnosti 500 g/m², (např. FILTEK 500 g/m²), která musí být v přesazích (min. 100 mm) horkovzdušně svařena.
- Zásyp výkopu nepropustným zeminovým násypem, který musí být hutněný po vrstvách o maximální tloušťce 200 mm. V případě, že zemina původního zásypu bude propustná či nehomogenní, je nutno ji nahradit jílovou či jinou těsnící zeminou.
- Provedení souvrství nového chodníku v uliční části. Na zhutněný násyp bude provedena zhutněná vrstva kameniva frakce 8-16 mm v tloušťce 100–150 mm. Zámková dlažba bude zpětně kladena do kladecí vrstvy frakce 4-8 mm v tloušťce cca 30 mm. Chodník bude spádován směrem ke komunikaci. Podél komunikace bude osazen odvodňovací žlab, který bude zaústěn do dešťové kanalizace.

V ostatních částech objektu bude dle potřeby provedena nepropustná povrchová úprava s odvodem srážkové vody od objektu, např. okapový chodníček z betonových desek ukládaných do maltového lože spádovaných směrem od objektu (min. 3%). Provedení betonového záchytného žlabu povrchové vody ve spádu s napojením do dešťové kanalizace.

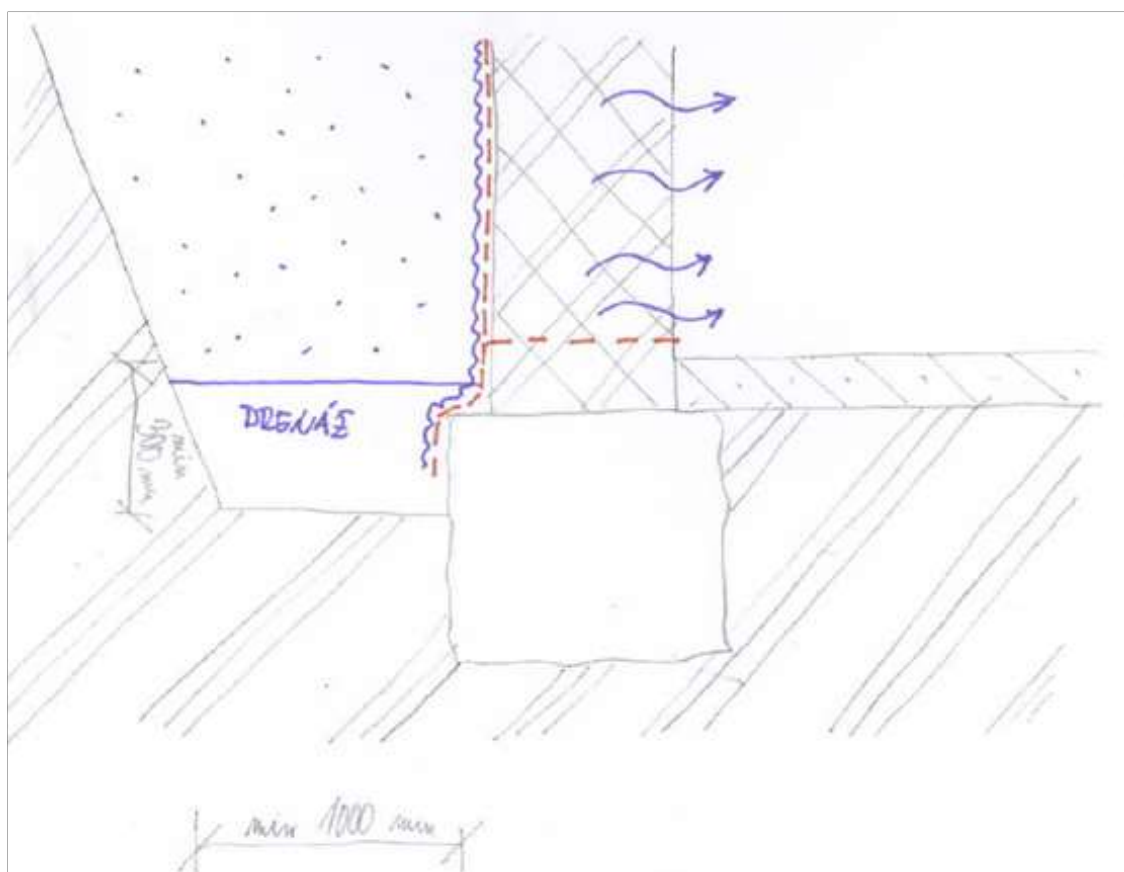
Svislý hydroizolační systém

Opatření spočívá v očištění zdiva, jeho vyrovnání cementovou maltou, případně u významných nerovností bude vyrovnání provedeno přibetonováním. Na vyrovnaný povrch bude provedena povlaková hydroizolace kompatibilní s hydroizolací použitou při podřezání (pozor na nekompatibilitu asfaltových pásů a PVC fólie). Je možné použít dvojici asfaltových pásů. Na vrstvu hydroizolace bude přiložena ochranná vrstva z polystyrenu se sníženou nasákovostí typu perimetr nebo XPS, dále bude položena nopová fólie s ochrannou geotextilií a bude proveden hutněný zásyp.



Tab. 14 Nová skladba obvodového zdiva (od exteriéru)

Vrstva		Tloušťka (mm)
Nové vrstvy	Zpětný zásyp stavební jámy nepropustnou zeminou	dle šířky výkopu
	Profilovaná fólie z HDPE s výškou nopů 8 mm a nakaširovanou textilií z polypropylenových vláken, (např. DEKDREN G8)	8
	Ochranná vrstva a tepelná izolace z desek se sníženou nasákavostí např. DEKPERIMETR SD 150	100
	2 x hydroizolační pás z SBS modifikovaného asfaltu s vložkou ze skleněné tkaniny (např. GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL)	8
	Asfaltová penetrační emulze (např. DEKPRIMER)	-
	Vyrovnávací vrstva pod hydroizolaci – v případě menších nerovností cementová stěrka, u větších nerovností aplikace betonové mazaniny do bednění, vyztužené KARI sítí	0–60
Původní vrstvy	Zděná suterénní obvodová stěna z cihelného nebo smíšeného zdiva nebo základové konstrukce	cca 600–800



Obr. 65 Schéma svislé hydroizolace



Technologie provádění (varianta asfaltový pás – AP, či PVC fólie – PVC)

- Očištění podkladů (stěn a základů). Předpokládá se rovný povrch přízdívky, a tedy i její ponechání.
- Penetrace omítnutých obvodových suterénních stěn, (např. DEKPRIMER).
- Celoplošné natavení první vrstvy svislého hydroizolačního povlaku z asfaltového SBS modifikovaného pásu tl. 4 mm s vložkou ze skleněné tkaniny (např. GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL). Celoplošné natavení druhé vrstvy svislého hydroizolačního povlaku z asfaltového SBS modifikovaného pásu tl. 4 mm s vložkou z polyesterové rohože a jemným separačním posypem (např. ELASTEK 40 SPECIAL MINERAL). Hydroizolaci ukončit minimálně 300 mm nad úroveň přilehlého upraveného terénu (Obr. 65). Hydroizolace bude napojena na stávající asfaltový pás, realizovaný pod vrstvu tepelné izolace při zateplení objektu. Pokud tato vrstva nebyla realizována, doporučuji odříznout tepelnou izolaci cca 400 mm nad terénem, aby mohla být hydroizolace vytažena min. 300 mm nad terén.
- Hydroizolační opracování všech případných prostupů svislým hydroizolačním povlakem.
- Montáž tepelněizolačních desek s uzavřenou strukturou povrchu z extrudovaného polystyrenu či perimetru tl. 100 mm, které budou k podkladu kotveny pomocí samolepících trnů.
- Pokládka profilované HDPE fólie s výškou nopů 8 mm (např. DEKDREN G8). Fólie se položí nopy ke konstrukci zdiva.
- Pokládka desek OSB tl. 25 mm (mechanická ochrana izolace při následném hutnění zásypu stavební jámy).
- Zásyp výkopu nepropustným zeminovým násypem, který musí být hutněný po vrstvách o maximální tloušťce 200 mm. V případě, že zemina původního zásypu bude propustná či nehomogenní, je nutno ji nahradit jílovou či jinou těsnící zeminou.
- Provedení souvrství nového chodníku v uliční části. Na zhutněný násyp bude provedena zhutněná vrstva kameniva frakce 8-16 mm v tloušťce 100–150 mm. Zámková dlažba bude zpětně kladena do kladecí vrstvy frakce 4-8 mm v tloušťce cca 30 mm. Chodník bude spádován směrem ke komunikaci. Podél komunikace bude osazen odvodňovací žlab, který bude zaústěn do dešťové kanalizace.

V ostatních částech objektu bude dle potřeby provedena nepropustná povrchová úprava s odvodem srážkové vody od objektu, např. okapový chodníček z betonových desek ukládaných do maltového lože spádovaných směrem od objektu (min. 3%). Provedení betonového záchytného žlabu povrchové vody ve spádu s napojením do dešťové kanalizace

9.8.3.2 Vodorovný hydroizolační systém

Aby bylo zabráněno vztlínání vlhkosti v místě podlahy, bude na hydroizolační povlak použitý pod nosným zdivem napojena vodorovná hydroizolace z asfaltového pásu (např. GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL), která bude provedena na stávající podlaze. Na hydroizolaci bude provedeno nové souvrství podlahy.

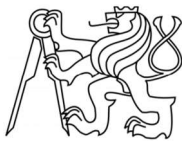


Tab. 15 Nová skladba podlahy (od exteriéru)

Vrstva		Tloušťka (mm)
Nové vrstvy	Nášlapná vrstva	-
	Roznášecí vrstva	-
	Tepelná izolace	-
	2x hydroizolační pás z SBS modifikovaného asfaltu s vložkou ze skleněné tkaniny (např. GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL)	8
	Asfaltová penetrační emulze (např. DEKPRIMER)	-
	Podkladní beton	80-100
Původní vrstvy	Původní zemina	-

9.8.3.3 Povrchové úpravy

Z uliční strany objektu bude zpětně realizován chodník dle kapitoly 9.8.3.1. Sokl objektu by bylo vhodné z uliční strany opatřit vodoodpudivým obkladem např. kamenným. V případě, že interiérové omítky by bylo nutné realizovat ještě před vysušením zdiva, je nutné užít sanačních omítek.



Obr. 66 Vyznačení metod nápravných opatření



9.9 Specifikace možných rizik

Vzhledem k tomu, že se jedná o rekonstrukci, existuje riziko, že je stav některých konstrukcí jiný, než byl předpokládán. V tomto případě by bylo potřeba vypracovat nový návrh sanačních metod s ohledem na nově zjištěné skutečnosti.

Navržené vodorovné řešení hydroizolace je navrženo za předpokladu, že se nachází spodní voda dle kapitoly 9.6. v hloubce 3,2 m. Sonda, ve které byla zjištěna spodní voda byla prováděna v níže položeném místě, než se nachází předmětný objekt, tudíž by se zde hladina spodní vody neměla zasahovat do suterénu. V případě, že by docházelo k zatopení sklepa by musel být proveden návrh hydroizolace s opatřením proti tlakové vodě.

Velké tloušťky stěn způsobují jen pozvolné vysychání zdiva (orientační hodnota vysychání je cca 25 mm za měsíc). Z toho jasně vyplývá, že pokud bude na vnějším líci stěny provedena povlaková hydroizolace a stěna opět zasypána, bude vysoušení zdiva probíhat několik let. Po tuto dobu lze očekávat opětovné vlhkostní poruchy, neboť vlhkost zdiva bude vystupovat na povrch, odkud se bude vypařovat.

Dokud zdivo zcela nevyschne, je nutné použít sanační (nejlépe obětované) omítky.

Navržené varianty je možné různě kombinovat. Lze například objekt odkopat, provést provizorní pažení, které umožní vysychání objektu a následně provést svislé hydroizolace a výkop zasypat.

Přesný návrh pažící stěny i odkopávání objektu je nutné nechat zpracovat autorizovaným statikem, který navrhne přesný technologický postup.

Řešení dodatečné vodorovné hydroizolace podřezáním zdiva je určitý zásah do nosných konstrukcí objektu, a proto v případě realizace je nutné tuto variantu konzultovat se statikem.

Vlastní realizací nápravných opatření je nutné provádět za odborného dozoru. Realizaci všech úprav musí být prováděno firmou mající s realizací navržených opatření zkušenosti.



10 ZÁVĚR

10.1 Zhodnocení vytyčených cílů

10.1.1 Sjednocení teoretických znalostí k sanaci vlhkého zdiva

V prvních kapitolách teoretické části této diplomové práce jsem se zabýval stavební fyzikou, zejména oblastí vlhkostí staveb. V několika kapitolách jsem postupně představil a objasnil pojmy týkající se vlhkosti a transportu vlhkosti napříč konstrukcemi.

Jednotlivé kapitoly stavební fyziky jsem se snažil pojmut (pokud možno) s pomocnou vysvětlující obrazovou přílohou, aby byly snadno pochopitelné jak pro odbornou komunitu, tak i pro širší veřejnost.

Po základní teorii k sanaci vlhkého zdiva jsem se věnoval objasněním všech různých příčin vlhnutí zdiva, jako například vnikání srážkové vody, vody vzlínající, zkondenzované vodní páře nebo vodě působící hydrostatickým vodním tlakem v podzákladích. Po rozebrání příčin vnikání vody do zdiva jsem se zabýval nejčastějšími příčinami poruch zdiva vlivem vlhkosti. Objasnil jsem všechny nejčastější příčiny poruch, jako jsou například absence hydroizolačních systémů a jejich nekvalitní provedení anebo například vady vzniklé změnou podmínek staveb.

10.1.2 Snížení vlhkosti v konstrukcích

V kapitole 6 jsem se zabýval popsáním všech náležitostí, které by měl obsahovat stavebně-technologický průzkum objektu k získání všech potřebných podkladů ke správnému návrhu sanačních metod. Byly popsány metody měření vlhkosti na stavbě (např. odporová metoda) i v laboratořích (např. gravimetrická metoda). Dále jsem rovněž sepsal seznam otázek, které by mohl případný projektant použít jako předlohu pro jeho následný stavebně-technologický průzkum.

V kapitole 7 jsem detailně popsal všechny metody redukující vlhkost v konstrukcích, které jsou dostupné na českém trhu. Popsal jsem tradiční metody, například vzduchové izolační systémy stěnové a podlahové, jílové izolace nebo mechanické metody aplikace dodatečných izolací, dále též i metody modernější, jako například chemické hydroizolační clony, elektroosmotické metody nebo hydrofobizační a sanační omítky. U všech metod byly popsány jejich hlavní výhody a nevýhody a u většiny metod byl popis doplněn o obrazovou nebo grafickou přílohu, k lepšímu pochopení dané metody.

10.1.3 Návrh konkrétních sanačních opatření pro vybraný objekt

Před samotným návrhem sanačních opatření jsem na vybraném objektu provedl stavebně-technologický průzkum. Průzkum zahrnoval provedení celkem tří sond, ke zjištění skladby podlahy v suterénu (popřípadě přítomnost hydroizolačního systému) a k zjištění stávajícího stavu hydroizolace v podpovrchové části vnějšího obvodového pláště. Zároveň byla během průzkumu provedena prohlídka celého objektu spolu s orientačním měřením vlhkosti pomocí příložného vlhkoměru.

Vzhledem k četnosti poruch uvnitř objektu a k rozsáhlosti zavlhlého zdiva bylo navrženo celkem osm různých sanačních metod. Metody se různě kombinují a navzájem doplňují.



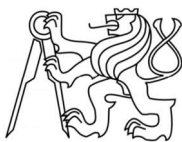
U jednotlivých metod je vždy uvedena počáteční rozvaha s vysvětlením, proč jsem vybral právě onu metodu. Při návrhu jednotlivých metod jsem vycházel z vlastního průzkumu daného objektu, z údajů získaných z českého geofondu, z informací poskytnutých od majitele objektu a z jednotlivých – především dispozičních – možností daného objektu.

10.2 Osobní přínos diplomové práce

Poznatky získané při vypracování této práce pro mě byly velkým přínosem. Doplnil jsem si chybějící znalosti ze stavební fyziky v oblasti vlhkosti staveb a získal nové prohlubující znalosti týkajících se příčin vlhnutí zdiva a nejčastějších důvodů vzniku poruch zdiva vlivem vlhkosti. Před vypracováním této diplomové práce jsem si nebyl zdaleka vědom všech možností odstranění vlhkosti ze zdiva a už vůbec ne možnosti jejich použití a jejich výhod, či nevýhod v různých situacích.

Při vypracování praktické části jsem získal mnohé zkušenosti při návrhu sanačního opatření pro zavlhčený objekt, kterých si velmi cením. V rámci práce jsem načerpal mimo jiné praktické zkušenosti s měřením vlhkosti v terénu a s prováděním sond do neznámé skladby podlahy.

Díky této diplomové práci jsem nabyt nových poznatků, které určitě využiji při svém dalším profesním působení. Za velmi přínosné považuji i získání celkově širšího přehledu v dané problematice a vytvoření si jistého nadhledu nad situací, který mi usnadní rozhodování o problémech v budoucnosti a pomůže mi chápat věci v globálních souvislostech.



11 POUŽITÉ ZDROJE

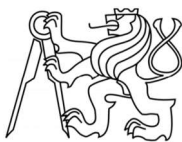
1. STANĚK, Kamil Ing. *Okrajové podmínky výpočtu teploty, vlhkosti, větru*. 2010.
2. ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha : Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
3. LEBEDA, Jaroslav a kolektiv. *Sanace zavlhělého zdiva budov* . Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988. L17-B2-IV-31/72 388.
4. Balík, Michael a kolektiv. *Odvhlčování staveb*. 2. vydání. Praha : Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2693-9.
5. ČSN EN ISO 7783 *Nátěrové hmoty - Stanovení propustnosti pro vodní páru - Misková metoda*. Praha : Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
6. Stavebnictví 3000. [Online] 04 2018. <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-veliciny-hodnoty-a-jednotky/>.
7. BALÍK, Michael. *Vysušování zdiva II*. Praha : Grada Publishing s.r.o., 1997. ISBN 80-7169-440-1.
8. ČSN P 73 0610 *Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení*. Praha : Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
9. ČSN 73 0540-3: *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
10. *Měření vlhkosti v praxi soudního inženýra*. ANTON, Ondřej Ing., Ing, BLAŽKOVÁ Vendula a HOBST, Leonard Doc. Ing. CSc. Brno : Příspěvek XIV. konference znalců, 2005.
11. ASB-portal.cz odborný stavební portál. [Online] <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/pruzkum-pricin-vlhnuti-zdiva-a-metodika-navrhu-sanace>.
12. ČSN P 73 0600 *Hydroizolace staveb - Základní ustanovení*. Praha : Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
13. ČSN P 73 0606 *Hydroizolace staveb - Povlakové hydroizolace - Základní ustanovení*. Praha : Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
14. Dům a byt. [Online] <http://www.imaterialy.dumabyt.cz>.
15. Gutta shop. [Online] <https://www.guttashop.cz/nopova-folie-guttabeta-t50-linear-.7889/>.



16. **Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti : WTA technická směrnice 4-4-96.** Praha : WTA CZ - Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památkové objekty, 2000. 80-02-01380-8.
17. BALÍK Michael, Ing. a kolektiv. **Odvlhčování staveb.** Praha : Grada s r.o., 2005. ISBN 80-247-0765-9.
18. RS servis. [Online] <http://www.rssg.cz/provadeni-sanacnich-praci/rubova-injektaz-zdiva>.
19. **Směrnice WTA 4-4-04 Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti.** Praha : WTA CZ - Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky z.s., 2010.
20. Ing. Zdeněk Kutnar, CSc. **KUTBAR - Izolace spodní stavby, Hydroizolační koncepce, hydroizolační konstrukce - návrh a posouzení.** Praha : DEKTRADE a.s., 2014. ISBN 978-80-87215-14-2 .
21. Výrobkyprostavbu.cz. [Online] <https://www.vyrobkyprostavbu.cz/category/serialy/serial-asfaltove-pasy/>.
22. Sasin, Levko. **BP - Průzkum a návrh rekonstrukce rodinného domu ve Rtyni nad Bílinou .** Praha : České Vysoké Učení Technické v Praze, 2017.
23. **ČSN 73 2310 Provádění zděných konstrukcí.** Praha : Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1988.
24. LB Cemix s r.o. [Online] <https://www.cemix.cz/produkty/sanacni-omitka-podkladni-wta>.
25. BALÍK, Michael. **Vysušování zdiva v příkladech.** Praha : Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3045-5.
26. Sanace a vysoušení staveb s.r.o. [Online] <http://www.sanace-staveb.cz/cs/Sanaceni-technologie/tlakova-injektaz/>.
27. HW-panty spol. s r.o. [Online] <http://www.hwpanty.cz/stranka/cz/3/retezova-pila-izolace-vlhkeho-zdiva/>.
28. TRUMF renovace a sanace s r.o. [Online] <http://www.sanace-zdiva-praha.cz/injektaz-vlhkeho-zdiva-cenik/>.
29. Sanace a vysoušení staveb s.r.o. [Online] <http://www.sanace-staveb.cz/cs/Sanaceni-technologie/elektrofyzikalni-vysouseni-zdiva/>.
30. Česká geologická služba. [Online] <http://www.geology.cz/extranet/sluzby/archivy/archiv-geofond>.
31. Aquasaning spol. s r.o. [Online] <http://www.aquasaning.cz/content/dialano.html>.
32. VAVERKA, Jiří. **Dřevostavby pro bydlení. 1. vyd.** Praha : Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2205-4.



33. SOLAŘ, Jaroslav. *Odstraňování vlhkosti: sanace vlhkého zdiva*. Praha : Grada, 2013. ISBN 978-80-247-8606-3.
34. *Soudní inženýrství*. [Online] 04 2017. <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-03-175-178.pdf>.
35. Isotec. [Online] <http://www.isotec.cz/>.
36. SAW. [Online] <http://saw.cz/?men=prov&nazev=Prov%E1d%EDme>.
37. Statika sanace s.r.o. [Online] <http://statikasanace.cz/sanace-vlhkeho-zdiva/23/23>.
38. PVP syntetik s.r.o. [Online] <http://www.pvpsyntetik.cz>.
39. MAPY.CZ. [Online] <https://mapy.cz/zakladni?x=13.8764717&y=50.6835601&z=19&base=ophoto&source=addr&id=10781923&q=Komensk%C3%A9ho%20202%20KRUPKA>.
40. MENTLÍK, Václav. Wikipedia.org. [Online] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dielektrikum>.
41. MetalŠpric Plzeň s r.o. [Online] <https://www.metalspric.cz/injektaz.htm>.
42. Chatař a chalupář. [Online] <http://www.chatar-chalupar.cz/sanace-vlhkeho-zdiva/>.



12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Hustota vodní páry ve vzduchu v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti [1]	15
Obr. 2 Částečný tlak vodní páry ve vzduchu v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti [1]	15
Obr. 3 Pohyb vlhkosti a vody v příčném směru zdiva. D – difuze vodní páry; TO – termoosmóza; P – výsledný pohyb vlhkosti	16
Obr. 4 Izotermy rovnovážné vlhkosti [4].....	19
Obr. 5 Kapilární vztlínavost	20
Obr. 6 Detail prostupu vlhkosti kapilárami a dutinami zdiva [4]	21
Obr. 7 Geometrie pórů. A – otevřené póry; B – slepé póry; C – uzavřené póry; D – rozvětvené póry; E – spojovací; F – lahvovité [4].....	23
Obr. 8 Příčiny vlhnutí zdiva [3].....	24
Obr. 9 Vodní pára v bytě získaná z několika zdrojů [3]	26
Obr. 10 Příklad č. 1 [7]	31
Obr. 11 Příklad č. 2 [7]	31
Obr. 12 Příklad č. 3 [7]	32
Obr. 13 Příklad č. 4 [7]	32
Obr. 14 Příklad č. 5 [7]	33
Obr. 15 Příklad č. 6 [7]	33
Obr. 16 Schéma odběru vzorků ke stanovení vlhkostního profilu [4]	38
Obr. 17 Příčiny vlhnutí zdiva podle rozložení vlhkosti ve zdivu [4]	38
Obr. 18 Anglický dvorek [4]	44
Obr. 19 Příklad zakrytého systému v kombinaci s hydroizolačním povlakem [4].....	44
Obr. 20 Princip provětrávaného soklu nad úrovní terénu [4]	45
Obr. 21 Neodvětrávaná vzduchová dutina [4].....	46
Obr. 22 Přívod vzduchu do interiéru, odvod vzduchu do interiéru [4]	47
Obr. 23 Přívod vzduchu z interiéru, odvod do exteriéru [4]	47
Obr. 24 Přívod i odvod vzduchu z exteriéru [4]	48
Obr. 25 Schéma vzduchové dutiny na vnější straně zdi [4].....	49
Obr. 26 Kombinace úpravy povrchů zdiva při nedostatečné výšce vzduchové dutiny [4]	50
Obr. 27 Příklad vodorovné vzduchové mezery pod podlahou, vytvořené zastropením [4]	51



Obr. 28 Příklad vzduchové mezery pod podlahou, vytvořené pomocí speciálních tvarovek [4]	51
Obr. 29 Příklad vzduchové mezery pod podlahou, s napojením na nepoužívaný komínový průduch a s ventilační turbínou [4].....	52
Obr. 30 Ventilační turbína typu Lomanco osazená na komínové hlavě [14].....	52
Obr. 31 Příklad nevhodně umístěného objektu z hlediska aplikace podlahové vzduchové dutiny [4]	54
Obr. 32 Příklad řešení kanálkového způsobu [4]	55
Obr. 33 Knapenovy kanálky [4].....	56
Obr. 34 Ukázka nopové fólie [15]	56
Obr. 35 Odvětrávaný drenážní systém vytvořený pomocí trubek zavrtaných z prostoru sklepa [4].....	58
Obr. 36 Odvětrávaný drenážní systém vytvořený z drenážních hadic uložených v podlaze podél stěn [4]	58
Obr. 37 Příklad beztlakové injektáže [41]	62
Obr. 38 Schéma beztlakové injektáže [4]	62
Obr. 39 Čerpadlo pro tlakovou injektáž zdiva [42]	63
Obr. 40 Schéma tlakové injektáže [26]	63
Obr. 41 Vyhřívání vrtů ve zdivu [35]	63
Obr. 42 Plnění připravených vrtů parafínem [35]	64
Obr. 43 Schématická ukázka rubové injektáže [18]	64
Obr. 44 A) Probourání prvních otvorů, vložení izolace a dozdění; B) Probourání dosavadních pilířků; C) vložení izolace a dozdění zbylého zdiva [36].....	66
Obr. 45 Ruční podřezání zdiva [36]	66
Obr. 46 Podřezání zdiva pilou s pojezdem stroje [27].....	67
Obr. 47 Schéma podříznutí zdiva lanovou pilou s diamantovým lanem [31]	67
Obr. 48 Vkládání izolace zarážení desek [37].....	68
Obr. 49 Ukázka použití bentonitové rohože ve větším rozsahu [38]	70
Obr. 50 Elektroosmotické zařízení s umístěním anody nad terén a katody do podlahy sklepa [4].....	73
Obr. 51 Elektroosmotické zařízení s umístěním anody pod úroveň terénu a katody do podlahy sklepa [4]	73
Obr. 52 Elektroosmotické zařízení s umístěním anody na klenbu podzemní místnosti [4]	74
Obr. 53 Kombinace chemické infuzní clony s elektroosmózou – případ možnosti pronikání volné vody z boků [4]	74

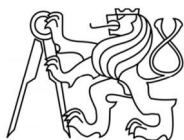


Obr. 54 Schéma ukládání solí v sanační omítce (postupem času) [4]	84
Obr. 55 Vzduchové systémy – variantní schéma řešení [7]	88
Obr. 56 Letecký pohled s vyznačením objektu [39].....	97
Obr. 57 Půdorys 1.NP – současný stav a bourací práce s rozdělením na tři části	98
Obr. 58 Vyznačení měření vlhkosti a sond 1.PP.....	101
Obr. 59 Vyznačení měření vlhkosti 1.NP	101
Obr. 60 Vyznačení objektu a geologického vrtu [30].....	104
Obr. 61 Schéma podříznutí zdiva lanovou pilou s diamantovým lanem [31]	108
Obr. 62 Podřezání zdiva v řezu	109
Obr. 63 Předstěna s větranou mezerou.....	110
Obr. 64 Schéma paty obvodové drenáže	111
Obr. 65 Schéma svislé hydroizolace	113
Obr. 66 Vyznačení metod nápravných opatření.....	116



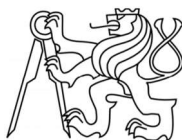
13 SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Dělení pórů podle velikosti [4]</i>	22
<i>Tab. 2 Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 [8]</i>	35
<i>Tab. 3 Stupeň zatížení solemi dle ČSN P 73 0610 [8]</i>	41
<i>Tab. 4 Srovnání vlastností jednotlivých typů asfaltových pásů</i>	76
<i>Tab. 5 Výhody a nevýhody hydroizolačních fólií a asfaltových pásů [21]</i>	77
<i>Tab. 6 Rozdělení omítek dle jejich složení [4]</i>	82
<i>Tab. 7 Samostatný řadový bytový dům postavený v rovině [25]</i>	93
<i>Tab. 8 Samostatný bytový dům, podsklepený [25]</i>	93
<i>Tab. 9 Řadový bytový dům podsklepený [25]</i>	93
<i>Tab. 10 Nebytová budova (kostel, úřad...) nepodsklepená [25]</i>	93
<i>Tab. 11 Nebytová budova (kostel, úřad...), podsklepená [25]</i>	94
<i>Tab. 12 Srovnání jednotlivých sanačních metod ([17] [7] [25] [4] [10] [3])</i>	94
<i>Tab. 13 Údaje z geologického vrtu [30]</i>	104
<i>Tab. 14 Nová skladba obvodového zdiva (od exteriéru)</i>	113
<i>Tab. 15 Nová skladba podlahy (od exteriéru)</i>	115



14 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Tabulka A.1 – Normové, charakteristické a návrhové hodnoty tepelných a vlhkostrních vlastností stavebních materiálů.....	128
Příloha 2 Tabulka A.8 Součinitel materiálu z_2	136
Příloha 3 Tabulka A.9 Součinitel způsobu zabudování materiálu z_3	137



15 PŘÍLOHY

Příloha 1 **Tabulka A.1** – Normové, charakteristické a návrhové hodnoty tepelných a vlhkostrních vlastností stavebních materiálů

Hodnoty		Normové			Charakteristické			Návrhové		
Položka	Materiál	Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{s0} kg/m ³	Mírná tepelná kapacita v suchém stavu c_{dh} J/(kg·K)	Suchý / mokry faktor difuzního odporu $\mu_{n,d} / \mu_{n,w}$ -	Součinitel difúzní vodivosti páry, suchý ¹⁾ $\delta_s \cdot 10^9$ s	Hlnotnostní vlhkost u_{zvao} %	Vlhkostrní součinitel materiálu Z_u -	Součinitel tepelné vodivosti λ_k W/(m·K)	Součinitel tepelné vodivosti λ_w W/(m·K)	Položka
1	2	3	4	4a	5	6	7	8	9	
1 Beton hutný							$z_2 = 0,1$			
1.1	Beton hutný	1020				1,5	0,080			1.1
1.1	- 2100		17	0,01				1,05	1,23	1.1
1.2	- 2200		20	0,009				1,10	1,30	1.2
1.3	- 2300		23	0,008				1,16	1,36	1.3
1.2	Železobeton	1020				1,5	0,080			1.2
2.1	- 2300		23	0,008				1,22	1,43	2.1
2.2	- 2400		29	0,007				1,34	1,58	2.2
2.3	- 2500		32	0,006				1,48	1,74	2.3
2 Betony s pórovitým kamenivem Lehké betony neautoklávované						z_2 dáno tabulkou A.8				
2.1	Beton ze struskové pemzy	890		17	0,011					2.1
1.1	- 1200					2,9	0,070	0,44	0,55	1.1
1.2	- 1300					3,1		0,50	0,60	1.2
1.3	- 1400					3,1	0,050	0,55	0,64	1.3
1.4	- 1500					3,2		0,60	0,68	1.4
1.5	- 1600					3,2	0,048	0,67	0,74	1.5
1.6	- 1700					3,2		0,76	0,84	1.6
2.2	Beton z expandované břidlice	880								2.2
2.1	- 900		4	0,048		2,7	0,065	0,38	0,48	2.1
2.2	- 1000		4	0,048		2,6		0,40	0,50	2.2
2.3	- 1100		5	0,038		2,9	0,055	0,43	0,51	2.3
2.4	- 1200		5	0,038		2,9		0,48	0,57	2.4
2.5	- 1300		6	0,031		3,0	0,045	0,54	0,61	2.5
2.3	Beton z keramzitu	880								2.3
3.1	- 700		8	0,024		0,2	0,045	0,23	0,28	3.1
3.2	- 800		9	0,021		0,3		0,26	0,31	3.2
3.3	- 900		10	0,019		0,4		0,30	0,34	3.3
3.4	- 1000		10	0,019		0,4		0,36	0,40	3.4
3.5	- 1100		11	0,017		0,5		0,43	0,48	3.5
3.6	- 1200		11	0,017		0,5		0,50	0,56	3.6
3.7	- 1300		13	0,014		0,6	0,035	0,59	0,63	3.7
3.8	- 1400		15	0,013		0,6		0,70	0,75	3.8
3.9	- 1700		16	0,012			0,035	1,25	1,30	3.9
2.4	Beton ze škváry	830								2.4
4.1	- 1000		6	0,031		0,60	0,025	0,47	0,52	4.2
4.2	- 1100		6	0,031		1,2		0,51	0,57	4.2
4.3	- 1200		6	0,031		2,9	0,038	0,57	0,65	4.3
4.4	- 1300		6	0,031				0,60	0,69	4.4
4.5	- 1400		6	0,031		3,1	0,045	0,64	0,73	4.5
4.6	- 1500		6	0,031				0,67	0,74	4.6
4.7	- 1600		8	0,024		3,3	0,050	0,71	0,79	4.7
4.8	- 1700							0,74	0,82	4.8
4.9	- 1800					3,7		0,81	0,90	4.9
4.10	- 1900							0,87	0,97	4.10
4.11	- 2000							0,91	1,01	4.11

(pokračování)



Tabulka A.1 (pokračování)

Hodnoty		Normové			Charakteristické			Návrhové		
Položka	Materiál	Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{s0} kg/m ³	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{s0} J/(kg·K)	Suchý / moký faktor difúzní odporu $\mu_{n,d} / \mu_{n,w}$ -	Součinitel difúzní vodivosti páry, suchý ¹⁾ $\delta_p \cdot 10^9$ s	Hmotnostní vlhkost $u_{z,100}$ %	Vlhkostní součinitel materiálu Z_e -	Součinitel tepelné vodivosti λ_k W/(m·K)	Součinitel tepelné vodivosti λ_d W/(m·K)	Položka
1	2	3	4	4a	5	6	7	8	9	
2.5	Beton z agloporitu	890								2.5
5.1	- 1350		20	0,009	2,0	0,050	0,60	0,69	5.1	
5.2	- 1700		23	0,008	2,0		1,0	1,11	5.2	
5.3	- 1750		23	0,008	2,0	0,045	1,10	1,20	5.3	
5.4	- 1800		23	0,008	2,0		1,15	1,26	5.4	
5.5	- 1850		23	0,008	2,0		1,29	1,42	5.5	
2.6	Beton z perlitu	1150								2.6
6.1	- 300		9	0,021		0,015	0,085	0,091	6.1	
6.2	- 350		9	0,021			0,10	0,11	6.2	
6.3	- 400		11	0,017		0,025	0,11	0,12	6.3	
6.4	- 450		11	0,017			0,12	0,13	6.4	
6.5	- 500		14	0,013	10,0		0,13	0,14	6.5	
6.6	- 550		14	0,013			0,14	0,15	6.6	
6.7	- 600		16	0,012			0,15	0,16	6.7	
2.7	Beton strusko-pazdrevý	1300				0,045				2.7
7.1	- 700		2 ¹⁾	0,094	5,0		0,15	0,18	7.1	
7.2	- 800		5 ¹⁾	0,038	5,0		0,19	0,22	7.2	
7.3	- 900		8 ¹⁾	0,024	5,0		0,21	0,25	7.3	
7.4	- 1000		10 ¹⁾	0,019	5,0		0,24	0,28	7.4	
7.5	- 1100		12 ¹⁾	0,016	5,0		0,28	0,32	7.5	
7.6	- 1200		13 ¹⁾	0,014	5,0		0,30	0,35	7.6	
2.8	Beton cihlový	840								2.8
8.1	- 1300		8	0,024	1,0	0,070	0,43	0,52	8.1	
8.2	- 1400		8		1,0		0,48	0,58	8.2	
8.3	- 1500		8		1,0		0,55	0,63	8.3	
8.4	- 1600		8		1,0	0,050	0,62	0,69	8.4	
8.5	- 1700		9	0,021	1,0		0,70	0,78	8.5	
8.6	- 1800		10	0,019	1,0		0,80	0,89	8.6	
2.9	Beton pílinový	1470								2.9
9.1	- 500		9	0,021	8,0	0,065	0,14	0,18	9.1	
9.2	- 700		10	0,019	8,0		0,17	0,22	9.2	
9.3	- 800		11	0,017	8,0	0,060	0,20	0,25	9.3	
9.4	- 1000		12	0,016	8,0		0,26	0,32	9.4	
3 Betony lehké autoklávované - pórobetony							$z_2 = 2,2$			
3.1	Pórobeton na bázi písku, nevyztužený ²⁾ , dřívě plynobeton	840	6 – 9		4,5	0,038			3.1	
1.1	- 480						0,16	0,19	1.1	
1.2	- 580			0,031 -			0,18	0,21	1.2	
1.3	- 680			- 0,02			0,21	0,24	1.3	
3.2	Pórobeton na bázi popílku, nevyztužený ²⁾ , dřívě plynosilikát	840	7 – 10	0,027 -	5,5	0,030			3.2	
2.1	- 480			- 0,019			0,16	0,18	2.1	
2.2	- 580						0,18	0,20	2.2	
2.3	- 680						0,20	0,23	2.3	
4 Malty / maltové směsi pro zdění a omítky připravované nelehčené							$z_2 = 0,1$			
4.1	Malta vápenná								4.1	
1.1	- 1600	840	8 – 10	0,024 -	0,8	0,11	0,70	0,87	1.1	
				- 0,019						
4.2	Malta vápencementová								4.2	
2.1	- 1850	840	14	0,013	1,3	0,070	0,86	0,97	2.1	
4.3	Malta cementová, cement, potěr								4.3	
3.1	- 2000	840	19	0,01	1,8	0,060	1,02	1,16	3.1	

(pokračování)



Tabulka A.1 (pokračování)

Hodnoty		Normové			Charakteristické			Návrhové		
Položka	Materiál	Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{sk} kg/m ³	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{sk} J/(kg·K)	Suchý / mokry faktor difuzního odporu $\mu_{s,d} / \mu_{s,w}$ -	Součinitel difuzní vodivosti páry, suchý $\delta_s \cdot 10^9$ s	Hmotnostní vlhkost W_{2300} %	Vlhkostní součinitel materiálu Z_e -	Součinitel tepelné vodivosti λ_k W/(m·K)	Součinitel tepelné vodivosti λ_w W/(m·K)	Položka
1	2	3	4	4a	5	6	7	8	9	
5 Omítky							$z_2 = 0,1$			
5.1	Omítka vápenná - 1600	840	6	0,031	1,8	0,09	0,70	0,88	5.1	
5.2	Omítka vápenoocementová - 2000	790	19	0,01	1,3	0,070	0,88	0,99	5.2	
6 Omítky tepelně izolační							$z_2 = 2,5$			
6.1	Omítka perlitová	850	7 – 15	0,027 – -0,013	4 – 6	0,022			6.1	
1.1	- 250						0,095	0,10	1.1	
1.2	- 300						0,095	0,11	1.2	
1.3	- 350						0,10	0,11	1.3	
1.4	- 400						0,11	0,12	1.4	
1.5	- 450						0,13	0,15	1.5	
1.6	- 500						0,16	0,18	1.6	
6.2	Omítka perlitová s PPS granulátem - 120	1000	7 – 15	0,027 – -0,013	4 – 6	0,025	0,046	0,051	6.2	
7 Tepelné izolační výrobky z pěnových plastů průmyslově vyráběné. (EPS, XPS, PUR, PF)							$z_2 = 4,0$			
do roku 2003										
7.1	Polystyren pěnový, EPS, ČSN 64 3510 ²⁾	1270	40 – 67	0,0047 – -0,002		0,002			7.1	
1.2	- 10				2,5		0,050	0,051	1.2	
1.3	- 20				2,0		0,043	0,044	1.3	
1.4	- 30				0,6		0,038	0,039	1.4	
1.5	- 40						0,036	0,037	1.5	
1.6	- 50						0,036	0,037	1.6	
1.7	- 60						0,038	0,039	1.7	
7.2	Polystyren vytačovaný – XPS 30	2060	100	0,0019		0,0008	0,034	0,034	7.2	
7.3	Polyuretan pěnový PUR, tuhý pěněný freonem, neoplášťovaný 35	1500	180-260	0,001 – -0,00072	3,0	0,0007	0,032	0,032	7.3	
3.1									3.1	
3.2	Oplášťovaný plechem 35	1510				0,0007	0,029	0,029	3.2	
3.3	Polyuretan pěnový, měkký - 35	800	2,5	0,075	1,1	0,015	0,043	0,048	3.3	
7.4	Formaldehydová pěnová pryskyřice, struktura otevřená	1250	2,5 – 6,5	0,075 – -0,029	8 – 10	0,0045			7.4	
4.1	- 20						0,036	0,037	4.1	
4.2	- 30						0,040	0,041	4.2	
4.3	- 40						0,040	0,045	4.3	
4.4	- 50						0,059	0,061	4.4	
4.5	struktura uzavřená - 25	1250	2,5 – 6,5	0,075 – -0,029	8 – 10	0,0045	0,040	0,041	4.5	
4.6	- 30	1510	14	-0,029		0,0023	0,049	0,050	4.6	
4.7	- 50			0,013			0,059	0,060	4.7	
7.5	PVC pěněné - 60	1350	265	0,00071		0,030	0,043	0,051	7.5	
po roce 2003							$z_2 = 2,0$			
7.6	Polystyren pěnový - EPS, ČSN EN 13163								7.6	
6.1	- 15	1270	12 - 30		0,4		0,043	0,044	6.1	
6.2	- 15 - 20		20 - 50		0,4	0,002	0,039	0,040	6.2	
6.3	- 20 - 25		30 - 70		0,4		0,037	0,038	6.3	
6.4	- 25 - 30		40 - 80		0,3		0,035	0,035	6.4	
6.5	- 30 - 35		45 - 100		0,3		0,033	0,033	6.5	

(pokračování)



Tabulka A.1 (pokračování)

Hodnoty		Normové				Charakteristické			Návrhové	Položka
Položka	Materiál	Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{sk} kg/m ³	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{sk} J/(kg·K)	Suchý / mokry faktor difuzního odporu $\mu_{h,s} / \mu_{h,w}$ -	Součinitel difuzní vodivosti pary, suchý ⁷⁾ $\delta_h \cdot 10^9$ s	Hmotnostní vlhkost W_{2300} %	Vlhkostní součinitel materiálu Z_w -	Součinitel tepelné vodivosti λ_k W/(m·K)	Součinitel tepelné vodivosti λ_u W/(m·K)	
1	2	3	4	4a	5	6	7	8	9	
8 Tepelné izolační výrobky z minerální vlny průmyslově vyráběné (MW) - s převážně podélnou orientací vláken										
do roku 2003 $z_2 = 2,0$										
8.1	Výrobky z minerální vlny MW ČSN 72 7311, ČSN 727312 ²⁾	880	1,1 – 3	0,17 - - 0,063	< 2				8.1	
1.1	- 100					0,065	0,044	0,056	1.1	
1.2	- 200					0,075	0,048	0,064	1.2	
1.3	- 300					0,080	0,058	0,079	1.3	
8.2	Výrobky z minerální vlny (MW), lisované	1150	5 – 12	0,038 - - 0,016	2 – 4				8.2	
2.1	- 150					0,016	0,089	0,095	2.1	
2.2	- 250					0,020	0,072	0,079	2.2	
2.3	- 350					0,008	0,052	0,054	2.3	
2.4	- 450					0,023	0,066	0,073	2.4	
2.5	- 500					0,029	0,078	0,088	2.5	
8.3	Výrobky ze skelné vlny, nyní MW	940	2,5	0,075	> 1				8.3	
	- 15					0,002	0,042	0,046		
	- 35					0,013	0,046	0,050		
po roce 2003 $z_2 = 1,0$										
8.4	Výrobky z minerální vlny (MW) ČSN EN 13162	880 - 1150	1,2 - 5			< 1			8.4	
4.1	- 50					0,019	0,039	0,041	4.1	
4.2	- 75					0,017	0,037	0,039	4.2	
4.3	- 100					0,020	0,039	0,041	4.3	
4.4	- 125					0,035	0,041	0,045	4.4	
4.5	- 150					0,045	0,043	0,049	4.5	
9 Tepelné izolační výrobky z pěnového skla (CG)										
do roku 2003 ⁷⁾ $z_2 = 4,0$										
9.1	Desky z pěnového skla Spumavit ČSN 70 1680 ²⁾	840	540			< 0,1	0,0002		9.1	
1.1	- 140							0,060	1.1	
1.2	- 180							0,069	1.2	
po roce 2003 ⁷⁾ $z_2 = 0,0$										
9.2	Desky z pěnového skla (CG) ČSN EN 13167	840	> 40 000			< 0,1	0,0		9.2	
2.1	- 120							0,044	2.1	
2.2	- 135							0,048	2.2	
2.3	- 165							0,052	2.3	
10 Dřevo, výrobky ze dřeva, na bázi dřeva, dřevovláknité výrobky (WF), z dřevité vlny (WW), cementotřískové desky, výrobky z expandovaného korku (ICB) z_2 podle tabulky A..8										
10.1	Dřevo rostlé tvrdé, tepelný tok - kolmo k vláknům								10.1	
1.1	- 600	2510	157	0,0012	13	0,025	0,18	0,22	1.1	
1.2	- rovnoběžné s vlákny - 600	2510	4,5	0,042	13	0,018	0,42	0,49	1.2	
10.2	Dřevo rostlé měkké, tepelný tok - kolmo k vláknům; desky z rostlého dřeva - 400	2510	157	0,0012	13	0,029	0,15	0,18	10.2	
2.1	- 400								2.1	
2.2	- rovnoběžné s vlákny - 400	2510	4,5	0,042	13	0,022	0,35	0,41	2.2	

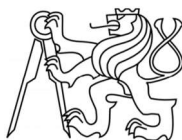
(pokračování)



Tabulka A.1 (pokračování)

Hodnoty		Normové			Charakteristické			Návrhové		
Položka	Materiál	Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{s0} kg/m ³	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{s0} J/(kg·K)	Suchý / moký faktor difuzního odporu $\mu_{h,d} / \mu_{h,w}$ -	Součinitel difúzní vodivosti páry, suchý ¹⁾ $\mu_s \cdot 10^9$ s	Hmotnostní vlhkost U_{zvlh} %	Vlhkostní součinitel materiálu Z_e -	Součinitel tepelné vodivosti λ_k W/(m·K)	Součinitel tepelné vodivosti λ_{k0} W/(m·K)	Položka
1	2	3	4	4a	5	6	7	8	9	
10.3	Dřevotřískové desky - 800	1500	12,5	0,015	7 – 10	0,013	0,17	0,18	10.3	
10.4	Dřevovláknité desky měkké - 230	1380	5	0,038	10	0,019	0,042	0,046	10.4	
10.5	Dřevovláknité desky, lisované ČSN EN 13986	1630		0,015	12	0,11			10.5	
5.1	- 200		5				0,070	0,075	5.1	
5.2	- 400		10				0,092	0,098	5.2	
5.3	- 600		20				0,12	0,13	5.3	
5.4	- 800		30				0,14	0,15	5.4	
5.5	- 1000						0,16	0,17	5.5	
10.6	Desky z korku liso- vané - 150	1880	5 – 10	0,038 - -0,019	6,5	0,019	0,058	0,064	10.6	
10.7	Desky z dřevité vlny pojené cementem (WW) ČSN EN 13168 (dříve např. ceme- totřískové desky s cementem)	1580	6,5	0,31					10.7	
7.1	- 300				4,5	0,020	0,10	0,11	7.1	
7.2	- 400				6	0,020	0,13	0,15	7.2	
7.3	- 500				6	0,030	0,14	0,17	7.3	
7.4	- 600				6	0,030	0,16	0,19	7.4	
7.5	- 800				6	0,040	0,19	0,24	7.5	
7.5	- 1000				6	0,045	0,22	0,29	7.5	
7.6	- 1200				6	0,050	0,26	0,35	7.6	
11 Deskové materiály ostatní					z₂ podle tabulky A.8					
11.1	Azbestocement - 1800	960	64 – 310	0,003 - - 0,0006	9	0,035	0,41	0,45	11.1	
11.2	Sádrokarton - 750	1060	9,0	0,021	10	0,045	0,15	0,22	11.2	
11.3	Desky z PVC ^{®)} - 1400	1100	17000	0,00001	1	0	0,16	0,16	11.3	
11.4	Desky z PE ^{®)} - 930	1470	94000	0,00000	2	0	0,34	0,34	11.4	
11.5	Polyesterový skelný laminát - 1600	1050				0	0,21	0,21	11.5	

(pokračování)



Tabulka A.1 (pokračování)

Hodnoty		Normové			Charakteristické			Návrhové		
Položka	Materiál	Objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_{s,0}$ kg/m ³	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu $c_{s,0}$ J/(kg·K)	Suchý / moký faktor difúzního odporu $\mu_{n,d} / \mu_{n,w}$ -	Součinitel difúzní vodivosti páry, suchý ¹⁾ $\delta \cdot 10^9$ s	Hmotnostní vlhkost $W_{23/50}$ %	Vlhkostní součinitel materiálu Z_s -	Součinitel tepelné vodivosti λ_k W/(m·K)	Součinitel tepelné vodivosti λ_d W/(m·K)	Položka
1	2	3	4	4a	5	6	7	8	9	
12 Syké materiály					$z_2 = 1,0$					
12.1	Keramzit Expandovaná břidlice Strusková pemza		1260	2,5 – 4,5	0,075 - - 0,042	3	0,025			12.1
1.1	- 400							0,12	0,13	1.1
1.2	- 500							0,13	0,14	1.2
1.3	- 600							0,15	0,16	1.3
1.4	- 700							0,17	0,18	1.4
1.5	- 800							0,19	0,21	1.5
1.6	- 900							0,21	0,23	1.6
1.7	- 1000							0,22	0,24	1.7
12.2	Křemelina - 600		1050	2,5	0,075	2,5	0,08	0,15	0,19	12.2
12.3	Korková drif - 45		1880	2,5	0,075	2	0,05	0,035	0,04	12.3
12.4	Píliny - 200		2510	2,5	0,075	10	0,07	0,10	0,12	12.4
12.5	Písek - 1750		960	4	0,048	1	0,30	0,55	0,95	12.5
12.6	Popílek		1010	2,5 – 10	0,075 - - 0,0009	1	0,03			12.6
6.1	- 85							0,21	0,23	6.1
6.2	- 1050							0,33	0,36	6.2
12.7	Škvára ulehlá - 750		750	3	0,063	3	0,09	0,21	0,27	12.7
12.8	Štěrka - 1650		800	5 – 23	0,038 - - 0,008	0,4		0,58		12.8
12.9.1	Expandovaný perlit volně sypaný	-100		2 - 4						
12.9.2		-150		4 - 5						
13 Plasty plné, nepěněné					$z_2 = 0,0$					
13.1	Polyetylén LD - 920		1470	94 000			0	0,33	0,33	13.1
13.2	Polyetylén HD - 980		1470	94 000			0	0,50	0,50	13.2
13.3	Polyamid, nylon - 1150							0,25	0,25	13.3
13.4	Polypropylen - 910							0,22	0,22	13.4
13.5	PU- Polyuretan tuhý - 1200							0,25	0,25	13.5
13.6	Pertinax - 1400		1590				0	0,22	0,22	13.6
13.7	Celuloid - 1400		1260				0	0,21	0,21	13.7
13.8	Flexisklo - 1180		1465				0	0,19	0,19	13.8
13.9	Novodur - 1380		1100				0	0,17	0,17	13.9
13.10	Polystyren - 1050		1340				0	0,13	0,13	13.10
13.11	PVC tuhý - 1380		1100				0	0,17	0,17	13.11
13.12	PVC ohebný - 1200							0,14	0,14	13.12
13.13	Sílon - 1150						0	0,26	0,26	13.13
13.14	Teflon - 2100						0	0,24	0,24	13.14
13.15	PCP - polychlorpren, Neopren - 1240							0,23	0,23	13.15
13.16	EPDM - etylén-propylén-dien-monomer - 1150							0,25	0,25	13.16
13.17	Plykarbonát plný - 1200							0,20	0,20	13.17
13.18	PMMA - poly-metakrylát - 1180							0,18	0,18	13.18

(pokračování)



Tabulka A.1 (pokračování)

Hodnoty		Normové				Charakteristické			Návrhové	Položka
Položka	Materiál	Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{sk} kg/m ³	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{sk} J/(kg·K)	Suchý / mokry faktor difuzního odporu $\mu_{n,s} / \mu_{n,w}$ -	Součinitel difuzní vodivosti páry, suchý $\delta_s \cdot 10^9$ s	Hmotnostní vlhkost W_{2300} %	Vlhkostní součinitel materiálu Z_s -	Součinitel tepelné vodivosti λ_k W/(m·K)	Součinitel tepelné vodivosti λ_n W/(m·K)	
1	2	3	4	4a	5	6	7	8	9	
14 Pryž					$z_2 = 0,0$					
14.1	Pryž tvrdá	- 1200	1420	55000	0,0000034	0	0	0,16	0,16	14.1
14.2.1	Pryž pěnová	- 150	1510	4700	0,00004	0,2	0,002	0,047	0,048	14.2.1
2.2		- 230		1450	0,00013			0,058	0,059	2.2
15 Tmely					$z_2 = 0,0$					
15.1	Chloroprenový - 1440		1300	1350	0,00014	0	0	0,26	0,26	15.1
15.2	Tmely pro stavební použití - 1500		1300	1350	0,00014	0	0	0,22	0,22	15.2
15.3	Butyl - 1200							0,24	0,24	15.3
15.4	Polysulfid - 1700							0,40	0,40	15.4
15.5	Silikon, čistý - 1200							0,35	0,35	15.5
15.6	Polyizobutylén - 930							0,20	0,20	15.6
16 Sklo					z_2 podle tabulky A.8					
16.1	Sklo tažené obyčejné - 2600		840	spárová diluze		0	0	0,76	0,76	16.1
17 Hydroizolace					$z_2 = 0,0$					
17.1	asfaltové pásy a lepenky - 1400		1470	viz tabulka A.3		0	0	0,21	0,21	17.1
17.2	fólie z PVC - 1400		960	tabulka A.3		0	0	0,16	0,16	17.2
17.3	fólie z PE - 1470		1470	tabulka A.3		0	0	0,35	0,35	17.3
18 Kovy					$z_2 = 0,0$					
18.1	Železo - 7850		440			0	0	58	58	18.1
18.2	Měď - 8800		380			0	0	372	372	18.2
18.3	Hliník - 2700		870			0	0	204	204	18.3
18.4	Ocel uhlíková - 7850					0	0	50	50	18.4
18.5	Legovaná ocel - 7850					0	0			18.5
	- mangan, 10-14 % Mn							15	15	
	- wolframová 5,5 %							33	33	
	- chromová 1 % Cr							40	40	
	5 % Cr							31	31	
	13 % Cr							20	20	
	16 % Cr							19	19	
	- niklová 3 % Ni							38	38	
	5 % Ni							32	32	
	10 % Ni							25	25	
	25 % Ni							18	18	
	36 % Ni							11	11	
	- chromniklová									
	18 % Cr, 9 % Ni							20	20	
	22 % Cr, 22 % Ni							15	15	
	22 % Cr, 42 % Ni							17	17	
	18 % Cr, 9 % Ni, 2 % Mo							20	20	
18.6	Nikl 99,2 %	7100	445			0	0	67	67	18.6
18.7	Zinek	7140	385			0	0	113	113	18.7
18.8	Mosaz	8600	380			0	0	102	102	18.8
18.9	Bronz	8800	330			0	0	70	70	18.9
19 Hominy					$z_2 = 0,0$					
19.1	Čedič		840			0	0			19.1
1.1		- 2880							2,9	1.1
1.2		- 3200							4,2	1.2
19.2	Pískovec		840	23	0,0062	0	0			19.2
2.1		- 1800							0,9	2.1
2.2		- 2400							1,4	2.2
2.3		- 2600							1,7	2.3
19.3	Porfyr, Břidlice	- 2800	750			0	0		1,7	19.3

(pokračování)

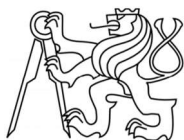


Tabulka A.1 (pokračování)

Hodnoty		Normové			Charakteristické			Návrhové	Položka	
Položka	Materiál	Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{s0} kg/m ³	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{en} J/(kg·K)	Suchý / moký faktor difuzního odporu $\mu_{n,d} / \mu_{n,w}$ -	Součinitel difuzní vodivosti páry, suchý ¹⁾ $\tilde{\mu}_s \cdot 10^9$ s	Hmotnostní vlhkost u_{2000} %	Vlhkostní součinitel materiálu Z_s -	Součinitel tepelné vodivosti λ_k W/(m·K)		Součinitel tepelné vodivosti λ_u W/(m·K)
1	2	3	4	4a	5	6	7	8	9	
19.4 4.1 4.2	Mramor	- 2400 - 2800	920			0	0		19.4 4.1 4.2	
19.5	Vápenec	- 2000 - 2500	920			0	0		19.5	
19.6 6.1	Žula	- 2500	950			0	0		19.6 6.1	
20 Zeminy					$z_2 = 1,5$					
20.1	Rostlá půda písčita, hlinitopísčita - vlhká - s přirozenou vlhkostí	- 2000 - 1800	920	2		20	0,40		20.1	
20.2	Hlína suchá	- 1600	750	1,5 ¹⁾ 1,5 ¹⁾			0,40 0,45	0,85 0,45	1,4 0,7	20.2
21 Voda a její skupenství					$z_2 = 0,0$					
21.1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5	Voda při teplotě 0 °C 10 °C 20 °C 50 °C 100 °C	- 1000 - 1000 - 998 - 988 - 958	4200			0			0,55 0,57 0,60 0,65 0,68	21.1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5
21.2 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7 2.8 2.9 2.10	Sněh - 50 - 100 - 150 - 200 - 250 - 300 - 350 - 400 - 450 - 500		2090			0			0,023 0,029 0,064 0,11 0,16 0,26 0,35 0,45 0,57 0,64	21.2 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7 2.8 2.9 2.10
21.3	Led	- 900						2,3		21.3
¹⁾ Hodnoty součinitele difuze vodní páry a označené hodnoty dalších veličin jsou uváděny orientačními hodnotami. ²⁾ Fyzikální vlastnosti vyztuženého pórobetonu se určí pro jeho objemovou hmotnost, (včetně podélné výztuže). Příčná výztuž způsobí nárůst součinitele tepelné vodivosti pórobetonu (pórobeton s podélnou výztuží) o 3%. ³⁾ V současné době již tyto normy nejsou platné. ⁴⁾ Je třeba zohlednit spárovou difuzi.										

Příloha 2 Tabulka A.8 Součinitel materiálu z_2

Položka	Výrobek, materiál	z_2
1	2	3
1	Beton / lehký beton / beton s pórovitým kamenivem / pórobeton, s objemovou hmotností v suchém stavu v kg/m^3	
1.1	$\rho_d > 1400$	0,1
1.2	$1400 \geq \rho_d > 1200$	0,7
1.3	$1200 \geq \rho_d > 1000$	1,5
1.4	$1000 \geq \rho_d > 700$	1,3
1.5	$700 \geq \rho_d$	2,2
2	Malty / maltové směsi pro zdění, omítky nelehčené	0,1
3	Omítky lehčené, tepelně izolační na silikátové bázi, výrobky z perlitu (EPB)	2,5
4	Tepelně izolační výrobky z minerální vlny (MW) uváděné na trh v ČR	
4.1	do roku 2003	2,0
4.2	po roce 2003	1,0
5	Tepelně izolační výrobky z pěnových plastů, např. pěnový polystyren (EPS), vytlačovaný polystyren (XPS), tvrdá polyuretanová pěna (PUR), fenolické pěny (PF), uváděné na trh	4,0
5.1	před rokem 2003	2,0
5.2	po roce 2003	
6	Tepelně izolační výrobky z pěnového skla (CG), uváděné na trh	
6.1	před rokem 2003	4,0
6.2	po roce 2003	0,0
7	Materiály na bázi azbestu, nebo s a s jeho přísadou	0,5
8	Dřevo, výrobky ze dřeva, na bázi dřeva, např. z dřevité vlny (WW), dřevovláknité výrobky (WF), cementotřískové desky, výrobky z expandovaného korku (ICB), s objemovou hmotností v suchém stavu	
8.1	$\rho_d < 800 \text{ kg/m}^3$	3,0
8.2	$\rho_d \geq 800 \text{ kg/m}^3$	4,0
9	Materiály na bázi sádry, sádrokarton apod.	4,0
10	Sypké materiály	1,0
11	Zeminy	1,5
12	Pálený keramický střep nelehčený (původní výroby)	0,7
13	Plasty hutné, tuhé (nepěněné), sklo a materiály hutné výše neuvedené	0,0

Příloha 3 Tabulka A.9 Součinitel způsobu zabudování materiálu z_3

Položka	Způsob zabudování materiálu s vlhkostním součinitelem Z_u	z_2
1	2	3
1 Vnitřní konstrukce, pro $Z_u > 0$		
1.1	V konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry	2,2
1.2	V konstrukci nedochází ke kondenzaci vodní páry	0,0
2 vnější konstrukce svislé, pro $Z_u > 0$		
2.1	V konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry při splnění podmínky aktivní celoroční bilance kondenzace a vypařování vodní páry,	
2.1.1	- materiál není v přímém styku s povětrnostními vlivy	2,2
2.1.2	- materiál je v přímém styku s povětrnostními vlivy (např. vnější omítka)	3,0
2.1.3	v konstrukci, kde nedochází ke kondenzaci vodní páry, zvláště pak u vnějších konstrukcí s otevřenou větranou vzduchovou dutinou	0,5
3 Vnější vodorovné a šikmé střešní konstrukce, pro $Z_u > 0$		
3.1	V konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry při splnění podmínky aktivní celoroční bilance kondenzace a vypařování vodní páry	3,0
3.2	V konstrukci nedochází ke kondenzaci vodní páry, zvláště pak u vnějších konstrukcí s otevřenou větranou vzduchovou dutinou	1,0
4 Pro všechny konstrukce, pro $Z_u = 0$		
4.1	Bez ohledu na druh konstrukce	0,0