ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.

Nová technická řešení pro sanaci spodní stavby vlhkých budov

New technical solutions for rehabilitation of ground part of moist buildings

Summary

Additional protection of ground part of older buildings against subsurface water and ground moisture is one of the most important measures to ensure their long-time durability and satisfactory user properties. One of the most used remediation method are air ducts which principle is to enable an air flow along the surface of moist structures and to ensure sufficient evaporation of moisture from the structure. The habilitation paper introduces a new technical solutions of this method based on the special shaped concrete blocks (ventilated plinth, ventilated floor and ventilated tunnel along the perimeter walls). In the second part of the habilitation paper there is described remediation method for moist lime-sand masonry based on the direct application of crystalline coating on the masonry surface. The efficiency of the method is demonstrated by the laboratory tests. There are presented also the results of other related tests which investigate the ability of the crystalline coating to create impermeable layer in a specific depth of structure (by using of electrical resistivity method) and describe the changes in water vapour permeability of concrete due to crystalline materials.

Souhrn

Dodatečná ochrana spodní stavby starších budov proti vodě pronikající z okolního horninového prostředí je jedním ze základních opatření, zajišťující dostatečnou trvanlivost a požadované uživatelské vlastnosti stavby. Jednou z nejvíce používaných sanačních metod jsou tzv. vzduchové izolační systémy, jejichž cílem je maximalizovat odpar vody (ve formě difundující vodní páry) ze stavební konstrukce prostřednictvím intenzivní výměny vzduchu v bezprostřední blízkosti konstrukce. Habilitační spis uvádí několik nových konstrukčních řešení určených pro vzduchové izolační systémy, která jsou založena na použití speciálně tvarovaných železobetonových tvarovek (provětrávaný sokl, provětrávaná podlaha, provětrávaná podzemní štola). Ve druhé části spisu je popsána sanační metoda určená pro zdivo z vápenopískových cihel, která je založena na přímé aplikaci krystalizačního nátěru na předem připravený povrch zdiva. Účinnost metody je demonstrována výsledky laboratorních zkoušek. Ve spisu jsou prezentovány i výsledky dalších souvisejících zkoušek, jejichž cílem bylo ověření hloubkového účinku krystalizačního nátěru (pomocí odporového měření vlhkosti) a stanovení vlivu krystalizačních materiálů na propustnost betonu pro vodní páru.

Klíčová slova

vlhkost, zdivo, sanační metody, provětrávané dutiny, krystalizační materiály, betonové konstrukce, vodonepropustnost, difuzní propustnost

Keywords

moisture, masonry, remediation methods, air ducts, crystalline materials, concrete strucutres, waterproofing, water vapour permeability

Obsah

1. Úvod.....6
2. Vzduchové izolační sanační metody.....6
3. Nová konstrukční řešení pro sanaci vlhkých budov.....8
3.1 Odvětrání soklové části budov použitím systému bet. tvarovek.....8
3.2 Segmentová provětrávaná štola.....10
3.3 Železobetonová prefabrikovaná provětrávaná podlaha..... 12
4. Využití krystalizačních materiálů při sanacích budov.....14
4.1 Krátce o krystalizačních materiálech.....14
4.2 Hloubkový účinek krystalizačního nátěru analyzovaný použitím odporové metody měření vlhkosti.....15
4.3 Sanace vlhkého zdiva z vápenopískových cihel na bázi přímé aplikace krystalizačního nátěru.....18
4.4 Změna difúzní propustnosti stavební konstrukce vlivem působení krystalizačních materiálů.....21
5. Závěr.....23
6. Použitá literatura.....24
7. Jiří Pazderka – životopis.....26

1. Úvod

Ochrana pozemních staveb proti vodě je jednou ze základních podmínek bezporuchové funkce stavebních objektů. Mezi nejvíce ohrožená místa budov patří oblast spodní stavby, která je zatěžována mnoha zdroji vlhkosti. Poruchy stavebních konstrukcí způsobené pronikáním vody z okolního horninového prostředí a z ploch přilehlých k objektu se objevují zejména u starších budov, které postrádají účinnou hydroizolační ochranu. Se stejnými problémy je však možné se setkat i u zcela nových staveb, u nichž byla ochrana proti podpovrchové vodě provedena nekvalitně nebo nesprávně. V obou výše zmíněných případech je nutné provést sanační zásah, jehož cílem je vybudování dodatečné účinné ochrany spodní stavby proti pronikání vody z okolního prostředí.

Nezbytným výchozím podkladem pro návrh efektivního sanačního opatření je kvalitně provedený stavebně technický průzkum objektu. Návrh i provádění sanace vlhkých konstrukcí spodní stavby se v ČR řídí podle norem [29], [30], [31] a nezávazně také podle směrnic WTA CZ (Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky), které jsou převzatými německými dokumenty vydanými WTA International. Výsledkem komplexně provedené sanace je buď provedení dodatečné hydroizolační obálky spodní stavby nebo provedení takových opatření, které sníží vlhkost konstrukcí na požadovanou úroveň. Cílem je zabránit degradaci stavebních materiálů, ze kterých je konstrukce složena a tím zamezit ztrátě projektovaných vlastností stavební konstrukce jako celku.

2. Vzduchové izolační sanační metody

Sanační metody pro snížení vlhkosti ve stavebních konstrukcích lze obecně rozdělit na metody přímé, nepřímé a doplňkové. Přímé sanační metody rozděluje odborná literatura [31] do 4 základních skupin na:

- mechanické metody
- vzduchové izolační metody
- injektážní (chemické) metody
- elektrofyzikální metody

Cílem přímých sanačních metod je buď vytvoření vodonepropustné bariéry v konstrukci (nebo těsně před ní) tak, aby nedocházelo k průniku vody do pórového systému stavebních materiálů použitých v chráněných částech spodní stavby (mechanické a injektážní metody) nebo snížení vlhkosti stavební konstrukce v určených místech budovy tak, aby v chráněném

prostoru již byla vlhkost konstrukcí na vyhovující/požadované úrovni (vzduchoizolační a elektrofyzikální metody). Dominantním zdrojem vlhkosti konstrukcí spodní stavby starších budov je obvykle vzlínání vody z podzákladí. Kapilární vzlínání je typickým způsobem šíření vody v pórovitých konstrukcích spodní stavby (zdivo, beton). Transport vody a vodní páry v pórovitých stavebních materiálech na silikátové bázi (zdivo, malta, omítka, beton, kámen) je poměrně složitý proces, ve kterém se uplatňuje množství různých transportních mechanismů [63]. Problematikou šíření vody a vodní páry porézními stavebními materiály se podrobně zabývalo již několik disertačních prací v zahraniční (např. [2], [10], [13]) i u nás (např. [19]) a dále velmi mnoho odborných článků, z nichž z poslední doby je možné uvést např. [6], [11], [17], [21].

Vzduchové izolační metody jsou velmi rozsáhlým souborem různých sanačních opatření, jejichž základním funkčním principem je snaha o maximalizaci množství vodní páry difundující ze stavební konstrukce. Cílem těchto metod je významně snížit množství vody v konstrukci, která se pomocí kapilárního vzlínání šíří ze spodní stavy do vyšších poloh budovy. Pro účinné snížení vlhkosti sanované konstrukce je nutné zajistit intenzivní výměnu vzduchu v bezprostřední blízkosti konstrukce tak, aby nedošlo k dosažení hodnoty relativní vlhkosti přilehlé vrstvy vzduchu φ=100%. Proto jsou všechny vzduchové izolační sanační systémy konstruovány tak, aby umožňovaly proudění vzduchu v bezprostřední blízkosti povrchu sanované konstrukce. Zároveň je důležité, aby měl přiváděný vzduch co nejnižší relativní vlhkost φ [%]. Mezi vzduchové izolační systémy patří provětrávané předstěny provedené na celou výšku podlaží (lze provádět z interiéru i z exteriéru), provětrávané podlahy, větrací kanálky ve zdivu, vnější provětrávané sokly a provětrávané štoly (konstrukce vybudované zcela pod úrovní terénu nebo podlahy).

Mezi nevýhody vzduchových izolačních metod patří obecně riziko jejich nízké účinnosti, dané buď vlivem nevhodného konstrukčního řešení (knappenovy kanálky, předstěny odvětrané do interiéru, nopové fólie – nedostatečná šířka dutiny) nebo vlivem nevhodné instalace (velká tloušťka zdiva, příliš intenzivní dotace vody do konstrukce, neupravený difuzně uzavřený povrch konstrukce). Další významnou nevýhodou je omezená trvanlivost některých současných konstrukčních řešení (zděné konstrukce provětrávaných štol a vnějších podzemních předstěn, skládané sokly s využitím prvků na bázi dřeva).

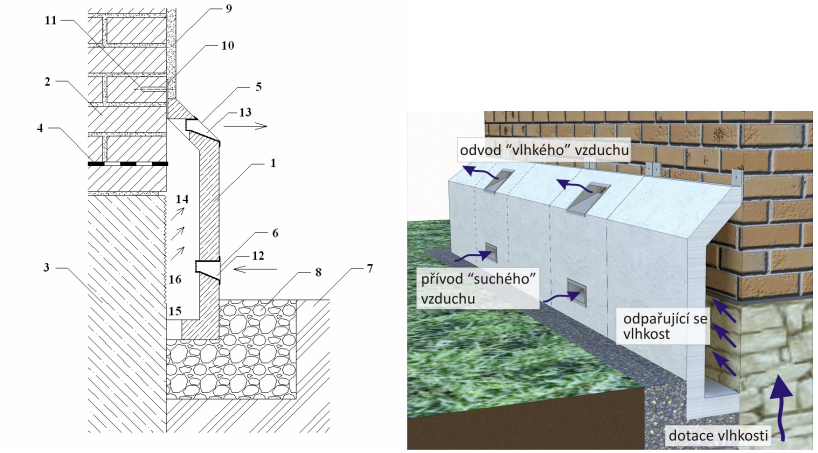
3. Nová konstrukční řešení pro sanaci vlhkých budov

3.1 Odvětrání soklové části budov použitím systému betonových tvarovek

Provětrávané sokly jsou účinným konstrukčním opatřením, které dokáže zajistit dostatečně intenzivní difuzi vodní páry ze soklové oblasti budov v místech pod dodatečně vytvořenou hydroizolační vrstvou ve zdivu, pod kterou dochází ke zvýšení vlhkosti konstrukce [5]. Provětrávaný sokl se navrhuje v případech, kdy je poloha hydroziolace ve zdivu nad úrovní přilehlého terénu. Provětrávané sokly bývají v současnosti realizovány jako skládaný systém, jehož základ tvoří ocelový nebo dřevěný rošt připevněný ke zdivu. Na rošt jsou osazeny desky různého materiálového provedení (kamenné, cementotřískové, keramické tvarovky, plechové šablony). Nedostatkem skládaných soklů je poměrně vysoká pracnost a z toho vyplývající vyšší cena za 1bm (závisí na konkrétním materiálovém provedení). Často lze i pochybovat o trvanlivosti skládaných systémů a to zejména v případě použití dřevěného roštu v kombinaci s cementotřískovými deskami (aplikace na vlhké konstrukce a specifické vlhkostní zatížení soklové oblasti – odstřikující voda apod.).

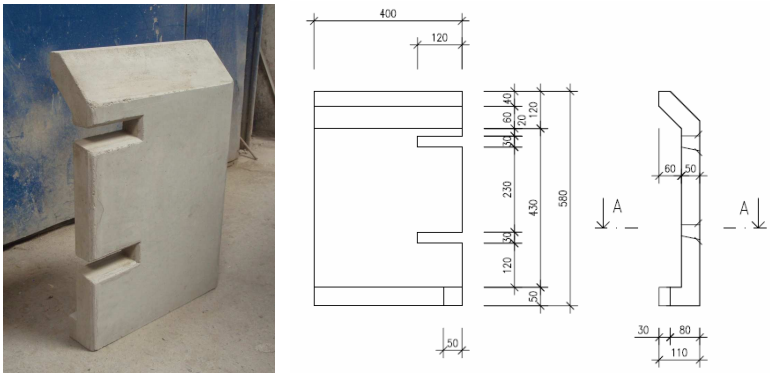
Výše uvedené nedostatky současných skládaných soklů jsou do značné míry odstraněny novým systémem pro odvětrávání soklové části zdiva, navrženým J. Pazderkou (autorem) a R. Ziglerem. Technické řešení bylo v roce 2011 zaregistrováno jako užitný vzor [14] na ÚPV. Základní filosofií návrhu nového systému byl požadavek na maximální jednoduchost při provádění a zároveň maximální trvanlivost provětrávaného soklu v prostředí s vysokou vlhkostí. Dalším důležitým požadavkem byla dostatečná mechanická odolnost, neboť vzhledem k poloze soklu (nízko nad povrchem terénu) lze očekávat vysoké riziko jeho poškození. Navržený systém je novou konstrukčně-materiálovou variantu řešení provětrávaných soklů, která si neklade za cíl překonat stávající provětrávané sokly rozsahem použití, ale svou trvanlivostí a jednoduchostí provádění. Konstrukční podstatou systému je to, že je tvořen sestavou propojených speciálních betonových tvarovek ve tvaru písmene „C“, umístěných svými konci ke stěně objektu po jejím obvodu *(obr. 1)*. Vnitřní prostor tvarovek tvoří kontinuální provětrávanou vzduchovou dutinu pro difuzi vodní páry ze zdiva nebo základu objektu. Podrobné technické řešení vlastní tvarovky je patrné z *obr. 1*. Kromě „běžných“ soklových tvarovek je systém doplněn také speciálními tvarovkami. Jedná se o rohovou a koutovou tvarovku se skosenou svislou hranou tak, aby bylo možné provětrávaný sokl provést

nepřerušeně podél celého obvodu budovy, dále ukončovací tvarovkou (dveře, okenní otvory) a „muzikusem“ pro přizpůsobení řady konkrétní délce stěny. V závislosti na konkrétní vlhkosti sanovaných konstrukcí je možné soklovou tvarovku doplnit v řadě tvarovkami bez nasávacích a odvětrávacích otvorů.



***Obr. 1** – Soklová tvarovka. Vlevo: stavební detail osazení k objektu, vpravo: 3D vizualizace. Popis: 1-tvarovka, 2-zdivo, 3-základový pas, 4-dodatečně provedená hydroizolace, 5-výdechový otvor, 6-nasávací otvor, 7-terén, 8-zásyp kamenivem, 9-omítka, 10-kotvení tvarovky, 11-kotevní šroub (vrut), 12, 13-chránička (síťka), 14-difuze vodní páry, 15-odtokový otvor, 16-zdrsnění povrchu základu*

Vzhledem ke značnému komerčnímu potenciálu výše uvedeného technického řešení zahájili jeho autoři (J. Pazderka a R. Zigler) v roce 2012 jednání s firmou Prefa Praha a.s. ohledně možnosti sériové výroby tvarovky a její uvedení na trh. Po několika jednáních došlo k úpravě finální výrobní podoby prefabrikátu tak, aby byla co nejvíce zjednodušena jeho výroba. Výsledkem těchto úprav byl posun odvětrávacích otvorů k okraji tvarovky *(obr. 2)*. Byla zpracována i kompletní výrobní dokumentace všech jednotlivých prvků systému a následně byl vyroben ve výrobní hale Prefa Praha a.s. první prototyp tvarovky. Zároveň byla vypracována licenční smlouva mezi Fakultou stavební ČVUT v Praze a firmou Prefa Praha a.s., avšak vzhledem k prohloubení krize ve stavebnictví v roce 2013 byl nakonec celý projekt ze strany Prefa Praha a.s. pozastaven (na vině byla zejména nová orientace firmy výhradně na výrobu těžkých prefabrikátů).



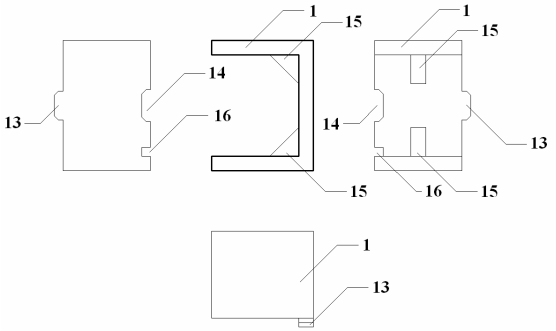
***Obr. 2** – Vlevo: prototyp soklové tvarovky, vpravo: výřez části výrobní dokumentace*

3.2 Segmentová provětrávaná štola

Provětrávaná štola je vzduchová izolační metoda, jejímž principem je vytvoření vodorovné dutiny podél sanované svislé nosné konstrukce. V současnosti se provětrávané štoly provádějí jako zděné konstrukce, kdy je dno štoly tvořeno betonovou mazaninou (případně ponecháno bez úpravy), na kterou je vyzděna vnější stěna z keramických nebo vápenopískových cihel. Zastropení šachty bývá provedeno z prefabrikované železobetonové desky. Nevýhodou současných zděných provětrávaných štol je zejména jejich omezená životnost a to i v případě, že je stropní deska štoly chráněna povlakovou hydroizolací. Konstrukce štoly, které jsou v přímém kontaktu se zemním prostředím jsou vystaveny intenzivnímu působení podpovrchové vody a zemní vlhkosti. Další nevýhodou zděných štol je jejich poměrně vysoká pracnost (betonáž mazaniny, zdění stěny štoly, sekání drážky ve zdivu pro uložení stropní desky) a nutnost dodržování technologické pauzy spojené s mokrými procesy.

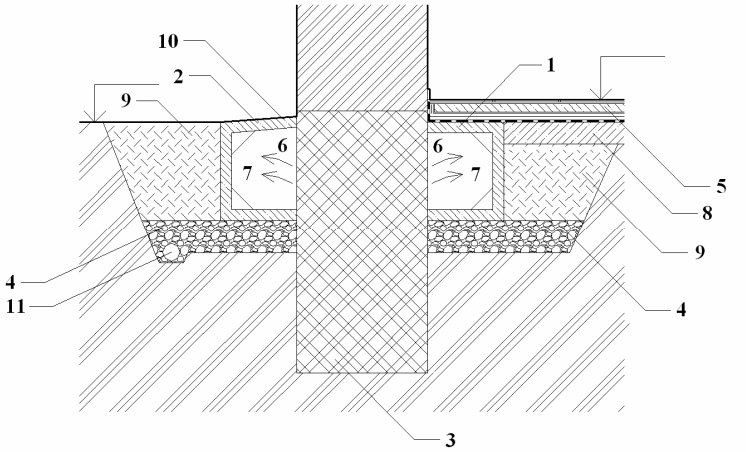
Výše uvedené nevýhody stávajících provětrávaných štol jsou do značné míry odstraněny novou segmentovou železobetonovou štolou, navrženou autorem (J. Pazderkou) a zapsanou v roce 2013 jako užitný vzor [15] na ÚPV. Podstatou technického řešení je provětrávaná štola, která je tvořena sestavou vzájemně propojených betonových tvarovek (segmentů) ve tvaru písmene „C“ *(obr. 3)*, umístěných svými konci ke stěně/základu objektu pod úrovní terénu nebo podlahy. Vnitřní prostor tvarovek vytváří kontinuální vodorovnou provětrávanou vzduchovou dutinu, která je

schopná přejímat vodní páru difundující ze zdiva a snižovat tak vlhkost sanované konstrukce.



***Obr. 3** – Tvarovka provětrávané štoly (popis: 1-tvarovka, 13,14-systém pero-drážka, 15-ztužující žebro, 16-odtokový otvor).*

Tvarovky jsou na svých bocích opatřeny systémem pero-drážka, díky kterému je zajištěno rovnoměrné sedání jednotlivých tvarovek (segmentů). Jednotlivé segmenty štoly jsou rozměrově navrženy tak, aby bylo možné konstrukci štoly provádět bez použití zvedacích prostředků (vnější rozměry tvarovky: 0,35 x 0,45 x 0,3 m, hmotnost: 37 kg).



.***Obr. 4** – Stavební detail osazení provětrávané štoly u sanované budovy (popis: 1-vnitřní podzemní štola, 2-vnější „povrchová“ štola, 3-základová pas (zděný), 4-štěrkový podsyp, 5-konstrukce nové podlahy, 6-odpar vlhkosti, 7-provětrávaná vzduchová dutina, 8-podkladní beton, 9-zhutněný násyp, 10-vodonepropustný povrch vnější štoly, 11-drenážní potrubí*

V současnosti probíhá experimentální výzkum (J. Pazderka, E. Hájková), jehož cílem je analýza účinnosti výše uvedené vzduchové izolační metody. Účinnost sanačního opatření je zkoumána na laboratorním modelu postaveném ve zmenšeném měřítku *(obr. 5)*, s využitím odporového vlhkoměru (v komparaci s referenčním modelem).

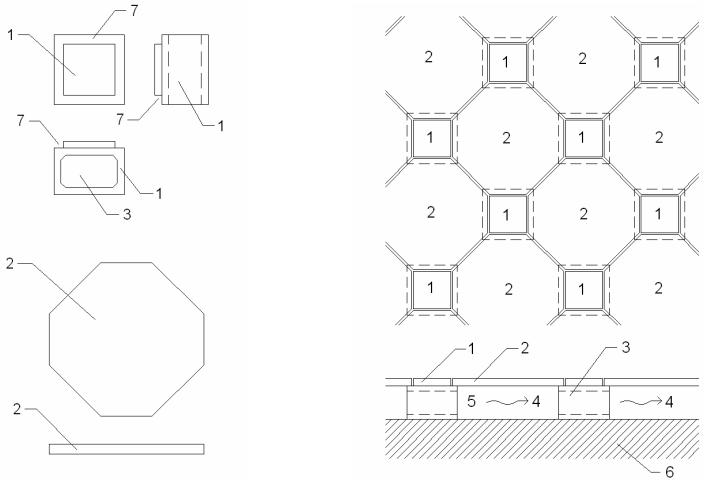
***Obr. 5** – Analýza účinnosti provětrávané štoly prováděná na laboratorním modelu.*

3.3 Železobetonová prefabrikovaná provětrávaná podlaha

Provětrávané podlahy jsou v současnosti prováděny buď jako tzv. „nultá“ stropní konstrukce, nebo pomocí plastových tvarovek zalitých betonem (systém IGLU), nebo případně na principu systému provětrávacího potrubí. Nejčastěji je používán systém IGLU, což je soustava plastových tvarovek, které jsou ukládány jedna vedle druhé. Tvarovky mají přibližný tvar převýšené křížové nebo kopulové klenby, díky čemuž mají otevřené všechny 4 boční stěny a vytváří tak spojitou vzduchovou mezeru. Po uložení tvarovek je nutné jejich zalití vrstvou betonu, kdy dojde i k probetonování mezer mezi „nohami“ tvarovek, které následně slouží jako podpěry celé podlahy. Betonová vrstva však prodlužuje dobu výstavby (mokrý proces). Nevýhodou systému je riziko poškození plastových tvarovek během montáže (tvarovky jsou před zalitím betonovou vrstvou křehké a pohyb pracovníků po jejich povrchu může způsobit prasknutí). Dalším problémem může být i případný únik části betonové směsi netěsnostmi mezi tvarovkami. Případná demontáž monolitické betonové vrstvy v budoucnosti je pak obtížná.

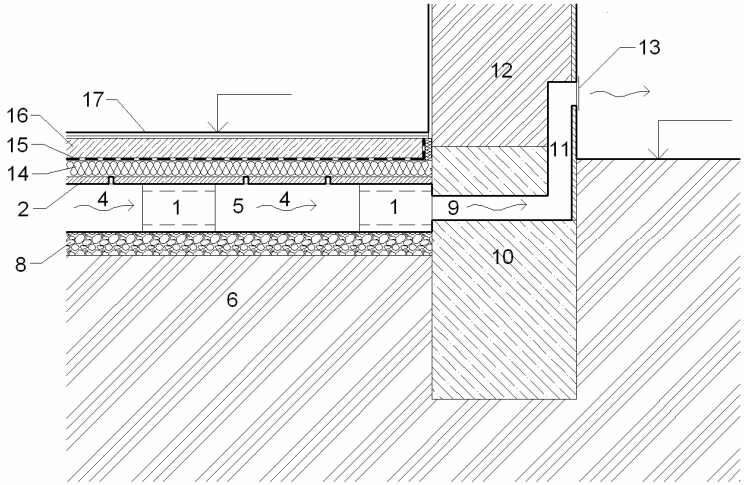
Výše uvedené nevýhody provětrávaných podlah systému IGLU jsou do značné míry odstraněny systémem prefabrikované železobetonové

podlahy, navrženým autorem (J. Pazderkou) v roce 2014 a přihlášeným jako užitný vzor [16] na ÚPV. Podstatou prefabrikované železobetonové podlahy je to, že je tvořena soustavou speciálních tvarovek z vysokopevnostního betonu (HPC) nebo alternativně z betonu běžné pevnosti s krystalizační příměsí, které jsou uspořádány tak, aby vytvářely kontinuální provětrávanou vzduchovou dutinu pod povrchem podlahy. Systém se skládá ze dvou typů tvarovek: „hranolů“ a „desek“. „Hranoly“ jsou prvky tvaru kvádru, které jsou uprostřed vylehčeny rozměrnou vzduchovou dutinu. Na své horní ploše mají vyvýšenou část, která tak vytváří po okrajích ozub, na který jsou ze všech 4 stran „hranolu“ osazeny „desky“, které mají osmiúhelníkový půdorysný tvar. Tento tvar „desky“ umožňuje rozmístění „hranolů“ v určitých vzdálenostech od sebe tak, aby nebyla porušena kontinuita vzduchové dutiny vytvořené podlahou v obou směrech.



***Obr. 6** – Vlevo: prvky „hranol“ a „deska“, vpravo: příklad uspořádání prvků v podlaze. Popis: 1-prvek „hranol“, 2-prvek „deska“, 3-dutina v „hranolu“, 4-proudící vzduch, 5-provětrávaná dutina, 6-terén, 7-ozub pro osazení prku „deska“*

Výhodou uvedeného technického řešení oproti systému IGLU je absence monolitické železobetonové desky v nosné konstrukci podlahy (není třeba provádět nadbetonávku). Další výhodou je podstatně nižší riziko poškození tvarovek během montáže a zároveň i snadná demontovatelnost kdykoliv v budoucnosti (absence monolitické vrstvy).

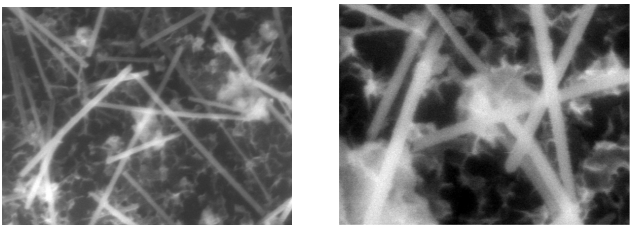


***Obr. 7** - Uspořádání konstrukce prefabrikované podlahy (řez): odvětrání do exteriéru. Popis: 1-prvek „hranol“, 2-prvek „deska“, 4-proudění vzduchu, 5-provětrávaná dutina, 6-terén, 8-štěrkový podsyp, 9-odvětrávací sopouch, 10-základový pas, 11-odvětrávací průduch, 12-zdivo, 13-krycí mřížka otvoru, 14-tepelná izolace v podlaze, 15-separační vrstva, 16-roznášecí vrstva (vyztužená betonová mazanina), 17-nášlapná vrstva podlahy (keramická dlažba).*

4. Využití krystalizačních materiálů při sanacích budov

4.1 Krátce o krystalizačních materiálech

Pojem „krystalizační materiály“ nebo „krystalizační hydroizolační systémy“ v sobě obecně zahrnuje několik odlišných technologických postupů (nátěr, příměs do betonu, rychletuhnoucí tmel, posyp), kterými lze v konečném důsledku dosáhnout vytvoření vodonepropustné betonové konstrukce. Krystalizační nátěry jsou vyráběny ve formě prášku, jehož dominantní složku tvoří jemně mletý portlandský cement, dále obsahuje menší množství jemného křemičitého písku a speciální přísady, jejichž složení se mění dle konkrétního výrobce. Podrobnou analýzou funkčního principu krystalizačních materiálů se již zabývala řada publikací [3], [18], [20], [22], [9], [8]. Základním problémem při snaze o nalezení přesné chemické reakce procesu sekundární krystalizace je skutečnost, že výrobci krystalizačních materiálů velmi přísně tají složení tzv. aktivních chemikálií, které do svých materiálů přidávají. Tyto chemikálie jsou přitom klíčovým činitelem katalytické chemické reakce, díky které dochází v pórovém systému betonu k dodatečnému krystalizačnímu procesu [9], který přeměňuje určité části původního cementového tmelu na jehlicovité krystaly *(obr. 8)*.



***Obr. 8** - Detail utěsňujících krystalů vzniklých vlivem působení krystalizačního materiálu Xypex, SEM, vlevo zvětšení 10000x, vpravo 25000x [foto J. Pazderka a L. Berka]*

Tyto krystaly (v případě správné aplikace krystalizačního materiálu) zaplní naprostou většinu kapilárních pórů v betonu (15 µm – 10 nm) a způsobí tak vznik vodonepropustné struktury. Jehlicovité krystaly jsou vytvářeny vlastním cementovým tmelem, krystalizační materiál funguje pouze jako katalyzátor, který tuto reakci spouští [8]. Podrobný popis chemické podstaty tohoto procesu je popsán v literatuře [9] a [8]. Krystalky jehlicovitého tvaru mohu za příznivých podmínek prorůstat až do hloubky desítek centimetrů pod povrch s aplikovaným krystalizačním nátěrem. Tento proces je však značně zdlouhavý (v řádech měsíců), jak ukázaly výsledky experimentálního měření provedeného autorem (kap. 4.2).

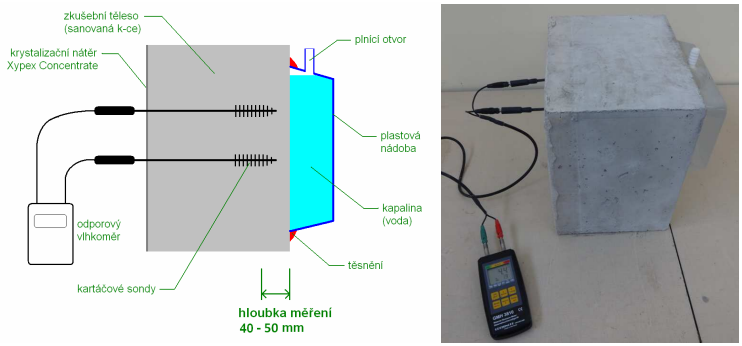
4.2 Hloubkový účinek krystalizačního nátěru analyzovaný použitím odporové metody měření vlhkosti

Často používaný sanační postup založený na aplikaci krystalizačního nátěru na vnitřní povrch vlhké železobetonové suterénní stěny bývá některými odborníky zpochybňován z hlediska schopnosti nátěru způsobit změny v betonové konstrukci v dostatečné hloubce od vnitřního povrchu tak, aby byla převážná část stěny chráněna proti pronikání vody z okolního horninového prostředí. Objektivní prokázání hloubkového účinku krystalizačního nátěru je ale velmi obtížné, což je v rozporu s povrchními propagačními materiály některých výrobců krystalizačních materiálů. Ty obvykle dokazují hloubkový účinek nátěru pomocí mikroskopické analýzy. Nedostatkem této metody ale je, že některé krystalické útvary vytvořené během hydratace betonu cementem jsou velmi podobné krystalickým formacím vytvořeným krystalizačním materiálem (nelze je rozlišit). Dále bývají prezentovány výsledky prvkové analýzy, která zjišťuje změny v množství obsažených chemických prvků v různých hloubkách betonu. Zde se však jedná pouze o nepřímé pozorování, bez přímé vazby na vodonepropustné vlastnosti betonu (změna v chemickém složení nemusí nutně znamenat také změnu ve vodonepropustnosti).

Cílem experimentálního měření bylo proto prokázat hloubkový účinek krystalizačního nátěru zcela novou metodou, založenou na použití odporového vlhkoměru s hloubkovými kartáčovými sondami a z toho vyplývajících možností uspořádání zkoušky. Parametry zkoušky byly přizpůsobeny konkrétnímu modelovému objektu moderního bytového domu v Praze, kde krátce po dokončení stavby začala pronikat voda do konstrukcí suterénních stěn (jednalo se o železobetonovou stěnu tl. 220mm). Byly vyrobeny 3 sady zkušebních těles, každá po 3 ks (celkem 9 těles). Všechna zkušební tělesa měla tvar kvádru o rozměrech 220 x 300 x 300 mm (rozměr 220mm simuloval tloušťku stěny). Všechna zkušební tělesa byla vyrobena z betonu C 20/25 standardní metodikou podle [27] (rozměry těles však byly nestandardní). Po 28 dech od betonáže byl na zkušební tělesa jedné sady (3 ks) aplikován krystalizační nátěr Xypex Concentrate. Další 2 zkušební sady těles (2 x 3 ks) byly ponechány bez úpravy. Zkušební sada s aplikovaným krystalizačním nátěrem a dále jedna ze zkušebních sad z betonu bez úpravy byly následně dovybaveny přídavným zařízením pro simulaci vlhkostního zatížení suterénní stěny. Každé těleso ze zkušební sady (2 x 3 kusy) bylo opatřeno na své svislé ploše (300 x 300mm) plastovou nádobou, která byla k tělesu vodonepropustně připojena pomocí speciálního lepidla *(obr. 9)*.

Obr. 9 *– Vlevo: Zkušební těleso z betonu C 20/25 s navrtanými otvory pro kartáčové sondy, vpravo: Zkušební sestava - těleso s připojenou nádobou a s krystalizačním nátěrem*

Do každého zkušebního tělesa byly následně vyvrtány vodorovné otvory Ø 6mm ve vzdálenosti 90mm od sebe, určené pro umístění kartáčových sond elektrického odporového vlhkoměru Greisinger GMH 3810. U těles zatížených zkušební kapalinou byly otvory vyvrtány do protilehlého povrchu proti povrchu s nádobou. Hloubka otvorů byla 190-200mm, což umožnilo sledovat vlhkost betonu ve vzdálenosti 40–50mm od zatíženého povrchu tělesa.



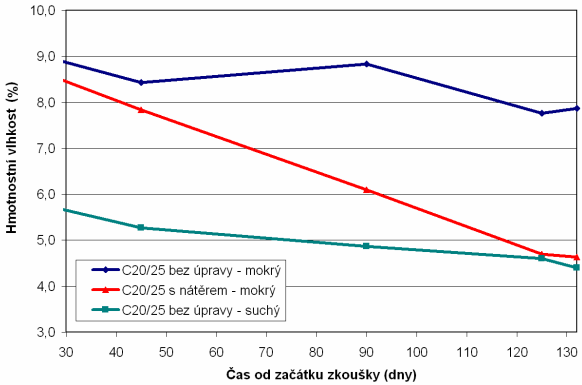
***Obr. 10** – Vlevo: Schematické uspořádání zkoušky, vpravo: Reálné měření vlhkosti na zkušební sestavě s aplikovaným krystalizačním nátěrem.*

Měření vlhkosti *w* odporovým přístrojem bylo provedeno na všech zkušebních sadách ve vybraných časových intervalech od vytvoření těles – 28, 45, 90, 125 resp. 132 dní. Na konci zkoušky byla všechna zkušební tělesa rozlomena v hydraulickém lisu a následně byly odebrány vzorky betonu z místa, kde byly situovány konce kartáčových sond. Vzorky byly podrobeny gravimetrickému měření vlhkosti s cílem kalibrovat hodnoty naměřené přístrojem.

typ vzorku	expozice	č. vz.	vlhkost vzorku *w* (%)									
			28 dní		45 dní		90 dní		125 dní		132 dní	
C20/25 bez úpravy	mokrý	1	8,9	8,9	7,8	8,4	9,1	8,8	7,5	7,8	7,8	7,9
		2	8,9		8,7		8,5		7,7		8,3	
		3	9,0		8,8		8,9		8,1		7,5	
C20/25 s nátěrem	mokrý	1	8,8	8,5	8,0	7,8	6,6	6,1	4,1	4,7	4,3	4,6
		2	8,7		7,8		5,9		4,1		4,5	
		3	8,1		7,7		5,8		5,9		5,1	
C20/25 bez úpravy	suchý	1	5,1	5,7	4,8	5,3	4,7	4,9	3,8	4,6	3,6	4,4
		2	6,1		5,9		5,1		5,2		5,2	
		3	5,9		5,1		4,8		4,8		4,4	

***Tab. 1** – Hmotnostní vlhkost betonu zkušebních těles měřená 40–50mm pod vlhkým povrchem*

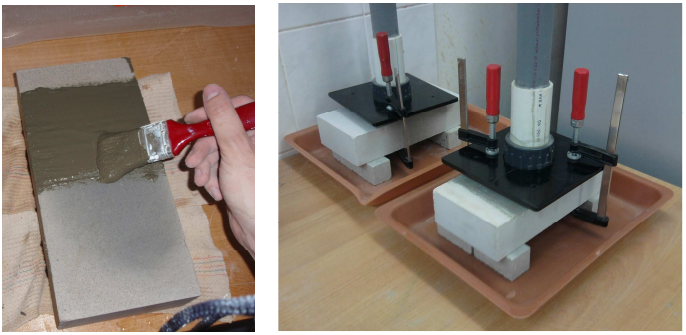
Výsledky experimentálního měření ukázaly, že krystalizační nátěr Xypex Concentrate v daných okrajových podmínkách významně ovlivnil vodonepropustnost betonu v hloubce 170–180 mm pod povrchem konstrukce. Vliv nátěru v této hloubce se ovšem projevil až se značným zpožděním po jeho aplikaci, dostatečných vodonepropustnostních vlastností ve zmíněné hloubce beton dosáhnul až po cca 4 měsících.



***Graf 1** – Vývoj hmotnostní vlhkosti w betonu zkušebních těles (měřeno 40–50mm pod povrchem zatíženým vlhkostí, tzn. ve vzdálenosti 170-180mm od povrchu s nátěrem).*

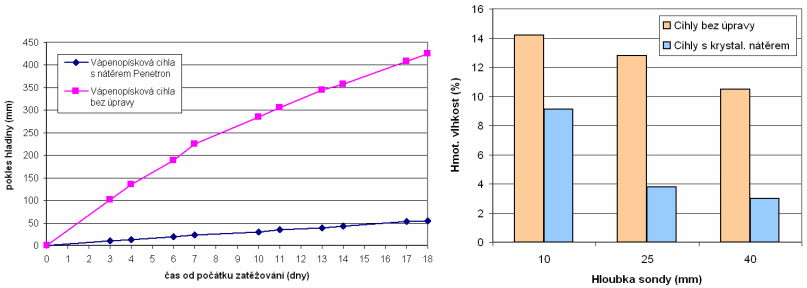
4.3 Sanace vlhkého zdiva z vápenopískových cihel na bázi přímé aplikace krystalizačního nátěru

Krystalizační nátěry a nástřiky se v současnosti samostatně aplikují výhradně na betonové konstrukce, případně na vrstvy ze stříkaného betonu, cementové potěry a betonové spádové vrstvy. Zatímco účinnost krystalizačních nátěrů při použití na betonových konstrukcích byla již mnohokrát laboratorně testována [7], [23], [26] a spolehlivě prokázána i v praxi [4], [12], [25], možnostem přímé aplikace krystalizačních nátěrů na jiné stavební materiály byla doposud věnována pouze minimální pozornost. Přímá aplikace krystalizačního nátěru na zdivo je možná pouze v případech, kdy zdivo obsahuje kusové stavivo vhodných parametrů. Těmito parametry jsou kapilárně otevřený pórový systém (podobný pórovému systému v cementovém tmelu) a zejména potom přítomnost kalcitu ve struktuře materiálu, který je nutný pro podporu procesu sekundární krystalizace. Jedním ze stavebních materiálů splňujících výše uvedené podmínky jsou vápenopískové cihly (nebo bloky). Účinnost krystalizačního nátěru (Penetron, Xypex) na vápenopískové cihly byla autorem ověřena laboratorními zkouškami, provedenými ve dvou fázích. V první fázi bylo sledováno vsakování zkušební kapaliny do vzorků cihel s natřeným, resp. nenatřeným povrchem. Během zkoušky byly vzorky natřených i nenatřených (referenčních) cihel umístěny do speciálního zkušebního zařízení (sestrojeného pro tento účel) a zatěžovány vodním tlakem o velikosti 10 kPa po dobu 18 dní *(obr. 11)*.



***Obr. 11** – Vlevo: aplikace krystalizačního nátěru na vzorek, vpravo: vápenopískové cihly s krystalizačním nátěrem zatížené hydrostatickým tlakem (10kPa)*

Během zatěžování vzorků tlakovou vodou byl monitorován úbytek vody ve zkušebním zařízení (úbytek vody byl doplňován tak, aby byl tlak vody konstantní). Výsledky měření úbytku testovací kapaliny ve zkušebním zařízení během zatěžování vzorků jsou znázorněny v *grafu 2 (vlevo)*, kde je vidět výrazný rozdíl mezi vzorkem s povrchem natřeným krystalizačním nátěrem Penetron a referenčním vzorkem bez nátěru. Po ukončení zatěžování byl každý vzorek rozlomen v místě působení tlakové vody a odseknuty vzorky z lomové plochy v různých vzdálenostech od povrchu zatíženého vodou. U všech vzorků byla gravimetrickou metodou změřena hmotnostní vlhkost w. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v *grafu 2 (vpravo)*.



***Graf 2** – Vlevo: úbytek kapaliny ve zkušebním zařízení během zkoušky, vpravo: hmotnostní vlhkost w uvnitř vápenopískové cihly v závislosti na vzdálenosti od natřeného povrchu*

Ve druhé fázi laboratorních zkoušek bylo provedeno ověření vodonepropustnosti vápenopískových cihel s aplikovaným krystalizačním nátěrem (Xypex Concentrate) při vyšším vodním tlaku (0,1 MPa). Zkouška byla provedena podle mírně upravené metodiky [28] na profesionálním tlakovém zařízení (vodotlačné stolici).

***Obr. 12** – Vlevo: ošetřování vzorků s aplikovaným krystalizačním nátěrem, vpravo: vzorky ve vodotlačné stolici, zatížené vodním tlakem 0,1 MPa.*

Pro dostatečnou objektivitu výsledků byla zkouška provedena na velkém počtu vzorků (50ks), což navíc umožnilo provádět tlakovou zkoušku v několika časových intervalech od aplikace nátěru.

***Obr. 13** – Vzorky vápenopískové cihly zatížené vodním tlakem (0,1 MPa). Vlevo: vzorek s aplikovaným krystalizačním nátěrem, vpravo: vzorek bez nátěru*

Výsledky jednoznačně prokázaly hydroizolační účinek, který ve struktuře vápenopískových cihel vyvolal krystalizační nátěr Xypex Concentrate. Na rozdíl od aplikace na betonové konstrukce byl však nástup hydroizolačního účinku nátěru výrazně pomalejší, dostatečné vodonepropustnosti dosáhly vzorky s nátěrem až po 70 dnech. Na základě výsledků laboratorních zkoušek bylo možné navrhnout nový sanační postup, založený na plošné aplikaci krystalizačního nátěru na zdivo z vápenopískových cihel. Cílem je podstatné zvýšení vodonepropustnosti sanované konstrukce. V roce 2014 byla autorem (J. Pazderkou) podána patentová přihláška této technologie

na ÚPV (PV 2014-396, patentové řízení stále probíhá). Podrobný popis sanačního postupu je uveden v patentové přihlášce. V současnosti probíhají další laboratorní zkoušky na kompletech cihla+malta+cihla, ověřující vliv spár na celkovou vodonepropustnost zdiva.

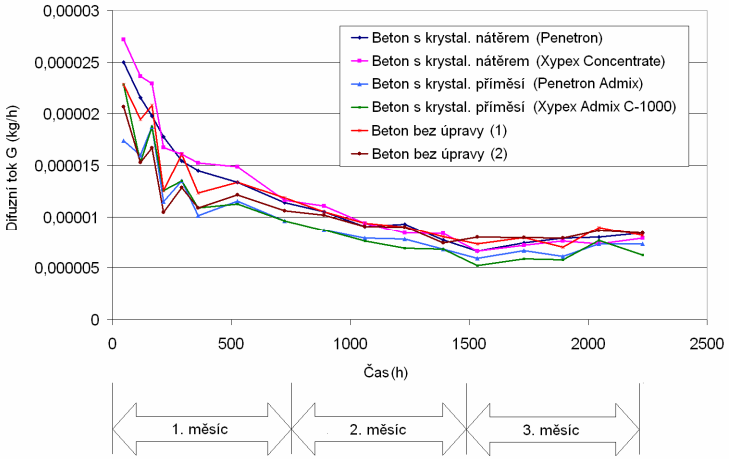
4.4 Změna difúzní propustnosti stavební konstrukce vlivem působení krystalizačních materiálů

Sanační postup popsaný v kap. 4.3 vychází z předpokladu, že krystalizační nátěr nijak významně nesnižuje difuzní propustnost sanované konstrukce. Tato předpokládaná vlastnost krystalizačního nátěru je důležitá pro zajištění prostupnosti konstrukce pro vodní páru. V opačném případě by docházelo při určitých okrajových podmínkách (zimní období) téměř jistě ke kondenzaci vody uvnitř konstrukce v místech začátku zóny ovlivněné krystalizačním nátěrem. Většina výrobců a dodavatelů krystalizačních materiálů sice uvádí „vysokou difúzní propustnost betonu s aplikovaným krystalizačním materiálem“ (platí pro nátěr i příměs), avšak tyto informace jsou ve většině případů prezentovány bez uvedení jakýchkoliv výsledků laboratorních testů (nejsou uvedeny žádné hodnoty faktoru difuzního odporu μ). Autor proto provedl vlastní nezávislé měření podle metodiky [32] s cílem porovnat přesnou hodnotu faktoru difuzního odporu μ betonu s/bez krystalizačního nátěru i příměsi.

Laboratorní měření bylo provedeno s krystalizačními materiály od 2 různých výrobců – Xypex a Penetron. Od každého z nich byl testován krystalizační nátěr (Xypex Concentrate, Penetron) i krystalizační příměs (Xypex Admix C1000, Penetron Admix). Měření tak bylo celkově provedeno na 3 typech zkušebních těles: beton s krystalizačním nátěrem, beton s krystalizační příměsí a beton bez úpravy (referenční). Základem pro výrobu vzorků se staly standardní zkušební betonové krychle o délce hrany 150mm, kterých bylo vyrobeno 6 ks. Po dozrání betonu byly z každé krychle vyříznuty 3 plátky o rozměrech 150 x 150 x 30 mm (celkem 18ks). Na 6 plátků byl následně aplikován krystalizační nátěr (na 3 ks Xypex a na 3 ks Penetron). Pro měření jednodimenzionálního prostupu vodní páry zkušebním tělesem bylo nutné difúzně uzavřít boční plochy těles aplikací parafinu. Zkušební sestava byla složena ze skleněné nádoby čtvercového půdorysu o rozměrech přibližně 150 x 150 mm, na které byl osazen zkušební vzorek. V nádobě byl umístěn chemický roztok Ba Cl_2 + 2 H_2O udržující v uzavřeném prostředí relativní vlhkost vzduchu 95% (tzv. metoda mokré misky podle [32]). Celá zkušební sestava byla umístěna do

klimatické komory se stálou teplotou ϑ = 23°C a relativní vlhkostí vzduchu φ = 50%. Množství prostupující vodní páry bylo měřeno vážením zkušební sestavy a zaznamenávání úbytku hmotnosti.

Obr.14 *– Vlevo: Vzorek s aplikovaným parafinem, vpravo: Zkušební sestavy (vzorek s nádobou)*



Graf 3 *- Difúzní tok vodní páry přes zkušební tělesa v průběhu zkoušky*

Faktor difúzního odporu měřeného materiálu μ [-] byl vypočítán ze zkouškou stanovené hodnoty difúzního toku vodní páry G [kg/h], dále z hodnot relativní vlhkosti prostřední na obou stranách vzorku φ [%], teploty během zkoušky ϑ [°C], rozměrů zkušebního tělesa [mm] a tloušťkou vzduchové vrstvy mezi spodním okrajem tělesa a hladinou chemického roztoku v nádobě [mm]. Výpočet byl proveden podle metodiky uvedené v normě [32].

Krystalizační materiál / hodnota		krystal. nátěr	krystal. příměs	bez úpravy
Penetron	faktor difuzního odporu μ [-]	71	85	71
	porovnání	100%	120%	100%
Xypex	faktor difuzního odporu μ [-]	69	80	69
	porovnání	100%	116%	100%

***Tab. 2** - Hodnoty faktoru difúzní propustnosti vypočtené z naměřených hodnot*

Výsledky ukázaly, že faktor difúzního odporu μ betonu s krystalizačním nátěrem (Xypex, Penetron) je stejný jako u betonu bez úpravy. Důležitý předpoklad pro použití sanačního postupu uvedeného z kap. 4.3 byl splněn, i když interpretace výsledků směrem v vápenopískovým cihlám je samozřejmě pouze přenesená. Dále bylo zjištěno, že faktor difúzního odporu μ betonu s krystalizační příměsí je vyšší než u betonu shodného složení bez příměsi, a to přibližně o 16 (Xypex) - 20% (Penetron).

5. Závěr

Konstrukce provětrávaných soklů, štol a podlah je možné řešit oproti stávajícímu stavu mnohem efektivněji použitím speciálních železobetonových tvarovek. Výhodou takového konstrukčního řešení je jednoduché a rychlé provádění, vysoká trvanlivost, mechanická odolnost a zároveň minimální zásah do stavební konstrukce.

Výsledky laboratorních zkoušek ukázaly, že plošná sanace zdiva z vápenopískových cihel založená na principu přímé aplikace krystalizačního nátěru může být potenciální sanační metodou, jejímž cílem je podstatné zvýšení vodonepropustnosti sanované konstrukce.

Pomocí speciálního experimentálního zkušebního postupu, založeného na použití odporového měření vlhkosti bylo prokázáno, že krystalizační nátěr (Xypex) v daných okrajových (laboratorních) podmínkách významně ovlivnil vodonepropustnost betonu v hloubce 170–180 mm pod povrchem konstrukce, avšak až se značným zpožděním po jeho aplikaci, po 4 měsících (v podmínkách stavební výroby lze předpokládat ještě delší dobu).

Výsledky laboratorních zkoušek ukázaly, že faktor difúzního odporu μ betonu s krystalizačním nátěrem (Xypex, Penetron) je stejný jako u betonu bez úpravy. Dále bylo prokázáno, že faktor difúzního odporu μ betonu s krystalizační příměsí je vyšší než u betonu shodného složení bez příměsi, a to přibližně o 16 (Xypex) - 20% (Penetron).

6. Použitá literatura

[1] Barnes R.: Permeability Testing of Site Concrete, The Concrete Society, Camberley, 2008.

[2] Bednar T.: Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden, disertační práce, TU Wien, 2000.

[3] Bohuš, Š. , Drochytka, R.: Cement based material with crystal-growth ability under long term aggressive medium impact, Applied Mechanics and Materials, 166-169, 1773-1778, 2012.

[4] Bowling, N.: Concrete admixture stabilizes tallest building in European Union, Building Design & Construction, 2012.

[5] Čejka T.: Experimentální výzkum vlivu vlhkosti na mechanické vlastnosti historických zděných konstrukcí, habilitační práce, ČVUT v Praze, 2010.

[6] D'Agostino, D.: Moisture dynamics in an historical masonry structure: The Cathedral of Lecce (South Italy), Building and Environment, 63, s. 122-133, 2013.

[7] Dao V.T.N., Dux P.F., Morris P.H., Carse A.H.: Performance of permeability-reducing admixtures in marine concrete structures, ACI Materials Journal, 107(3), 2010.

[8] Dohnálek P.: Vývoj bariérových kapalinotěsných a plynotěsných povrchových úprav s využitím odpadních látek, disertační práce, Fakulta stavební, VUT v Brně, 2010.

[9] Edvardsen, C.: Water Penetrability and Autogenous Healing of Separation Cracks in Concrete, Betonwerk und Fertigteil-Technik, 62(11), 77-85, 1996.

[10] Hecht, C.: Bauphysikalishe bewertung ausgewählter sanierungsvarianten unter besonderer barücksichtigung von paraffinen und kapillar leitfähigen dämmstoffen, disertační práce, TU Wien, 2001.

[11] Janssen, H., Derluyn, H., Carmeliet, J.: Moisture transfer through mortar joints: A sharp-front analysis, Cement and Concrete Research, 42(8), s. 1105-1112, 2012.

[12] Klouda, F.: The Capri South Beach fully protected with crystalline waterproofing-admixture-treated concrete, Concrete Engineering International, 14(4), 59-60, 2008.

[13] Künzel H. M.: Simultaneous Heat and moisture transport in building components, disertační práce, Stuttgart, 1995.

[14] Pazderka, J., Zigler, R.: Systém pro odvětrávání soklové části zdiva, užitný vzor č. 22986, Úřad průmyslového vlastnictví, Praha, 2011.

[15] Pazderka, J.: Provětrávaná štola pro sanaci budov zatížených vzlínající vlhkostí, užitný vzor č. 25990, Úřad průmyslového vlastnictví, Praha, 2013.

[16] Pazderka, J.: Provětrávaná podlaha, užitný vzor č. 27462, Úřad průmyslového vlastnictví, 2014.

[17] Piaia, J.C.Z., Cheriaf, M., Rocha, J.C., Mustelier, N.L.: Measurements of water penetration and leakage in masonry wall: Experimental results and numerical simulation, Building and Environment, 61, s. 18-26, 2013.

[18] Rahhal, V., Bonavetti, V., Delgado, A., Pedrajas, C., Talero, R.: Scheme of the Portland cement hydration with crystalline mineral admixtures and other aspects, Silicates Industriels 74(11-12), 347-352, 2009.
[19] Semerák P.: Vlhkost v porézních materiálech – transport a měření, disertační práce, ČVUT Fakulta stavební, Praha 1999.
[20] Shaozhu, X.: Research and development of cement-based permeable crystallization type waterproof materials abroad, China Building Waterproofing, 6, 2001.
[21] Sýkora, J., Krejčí, T., Kruis, J., Šejnoha, M.: Computational homogenization of non-stationary transport processes in masonry structures, Journal of Computational and Applied Mathematics, 236(18), s. 4745-4755, 2012.
[22] Wang, G.-M., Yu, J.-Y.: Effect of catalytic crystalline waterproofing coating on performance and microstructure of concrete, Journal of Wuhan University of Technology, 28(3), 29-31, 2006.
[23] Wang, K. , Hu, T. , Xu, S.: Influence of permeated crystalline waterproof materials on impermeability of concrete, Advanced Materials Research, 446-449, 954-960, 2012.
[24] Witzany J., Čejka T., Zigler R.: The Effect of Moisture on Significant Mechanical Characteristics of Masonry, Engineering structures and technologies, p. 79-85, 2010.
[25] Yuers, K.: Chemical waterproofing more than skin deep, Concrete Engineering International, 8(1), 36-37, 2004.
[26] Zhang, Y., Du, X., Li, Y., Yang, F., Li, Z.: Research on cementitious capillary crystalline waterproofing coating for underground concrete works, Advanced Materials Research, 450-451, 286-290, 2012.
[27] ČSN EN 12390-2 - Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušku pevnosti,ÚNMZ, 2009
[28] ČSN EN 12390-8 - Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou, ÚNMZ, 2009
[29] ČSN P 73 0600 Hydroizolace staveb – Základní ustanovení, ÚNMZ, 2000
[30] ČSN P 73 0606 Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace, ÚNMZ, 2000
[31] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva, ÚNMZ, 2000.
[32] ČSN EN ISO 12572 - Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení prostupu vodní páry, ÚNMZ, 2002

Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.

Datum narození: 28.10. 1979
Rodinný stav: ženatý, 2 děti

VZDĚLÁNÍ

2005 – 2008	Doktorské studium (Ph.D.) na ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, ve studijním programu Stavební inženýrství, v oboru Pozemní stavby (téma disertační práce: Analýza spolehlivosti krystalizačních hydroizolací a jejich uplatnění v oblasti pozemních staveb).
2007 – 2008	Studium na TU Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau und Technologie, Zentrum für Bauphysik und Bauakustik.
1998 – 2005	Magisterské studium (Ing.) na ČVUT v Praze, Fakulta stavební, ve studijním programu Stavební inženýrství, v oboru Pozemní stavby a konstrukce.

PRACOVNÍ A ODBORNÉ ZKUŠENOSTI

2008 – souč.	Odborný asistent, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Stavební fakulta, ČVUT v Praze
2014 – souč.	Předseda legislativní komise Akademického senátu Fakulty stavební, ČVUT v Praze
2014	Spolupráce s firmou Nekap s.r.o. v rámci smluvního výzkumu (laboratorní zkoušky krystalizačních materiálů)
2009 – 2011	Externí přednášející na VŠ Bankovní institut vysoká škola
2010	Koordinátor-vedoucí týmu hodnotitelů (44 osob) projektů rekonstrukcí budov v rámci 16. Výzvy OPŽP (spolupráce mezi FSv ČVUT a SFŽP)
2009	Spolupráce s firmou CPM s.r.o. (vývoj sanačního systému)
2005 – 2007	Spolupráce s ateliérem Archax - Akad. Arch. Vladimíra Axmanová (projekty rekonstrukcí)
2007	Spolupráce s firmou Stavební izolace Pelhřimov s.r.o. (stavbyvedoucí)

VYBRANÉ ODBORNÉ PUBLIKACE (hlavní autor)

[1] Pazderka J.: Changes in water vapor permeability of concrete due to crystalline materials, Concrete, The Concrete Society (GB), Volume 48, No 1, p. 45-46, 2014

[2] Pazderka J.: Crystalline coating or crystalline admixture?, Concrete, The Concrete Society (GB), Volume 48, No 3, p. 20-21, 2014

[3] Pazderka J., Zigler R.: The improvement of the "metal sheets" waterproofing method as a contribution to sustainable building, Building engineer, The Association of Building Engineers (GB), Volume 89, No 1, p. 20-23, 2014

[4] Pazderka J., Hájková E.: Analysis of moisture in masonry, Building engineer, The Association of Building Engineers (GB), Volume 89, No 9, p. 20-24, 2014

[5] Pazderka J., Reiterman P.: Depth impact of crystalline coating measured by electrical resistivity method, Concrete, The Concrete Society (GB), Volume 48, No 8, p. 20-21, 2014

[6] Pazderka J., Hecht C.: New facts about crystalline waterproofing coatings, Cement, Wapno, Beton, 2015 *(článek v tisku)*

[7] Pazderka J., Zigler R.: Refurbishment of moist building masonry in terms of sustainable building, Central Europe towards Sustainable Building 2013, p. 163-166, 2013.

PATENTY A UŽITNÉ VZORY (hlavní autor)

[1] Pazderka J.: Osvětlovací a větrací šachta, patent č. 305027, Úřad průmyslového vlastnictví, Praha, 2015

[2] Pazderka J., Hájek P.: Soklová tvarovka, patent, č. spisu PV 2014-98, Úřad průmyslového vlastnictví, Praha, 2015 *(kladně ukončen úplný průzkum, probíhá vydání patentové listiny)*

[3] Pazderka, J.: Provětrávaná podlaha, užitný vzor č. 27462, Úřad průmyslového vlastnictví, 2014.

[4] Pazderka, J.: Provětrávaná štola pro sanaci budov zatížených vzlínající vlhkostí, užitný vzor č. 25990, Úřad průmyslového vlastnictví, 2013.

[5] Pazderka, J.: Osvětlovací a větrací šachta, užitný vzor č.25483, Úřad průmyslového vlastnictví, 2013.

[6] Pazderka J., Hájek P.: Konstrukce atiky, zejména pro ploché střechy budov, užitný vzor č. 27642, Úřad průmyslového vlastnictví, 2014.

[7] Pazderka J., Hájek P.: Soklová tvarovka, užitný vzor č. 27138, Úřad průmyslového vlastnictví, 2014.

[8] Pazderka, J., Zigler, R.: Systém pro odvětrávání soklové části zdiva, užitný vzor č.22986, Úřad průmyslového vlastnictví, 2011.

PEDAGOGICKÁ ČINNOST

ČVUT, Fakulta stavební

- pravidelné přednášky předmětů: 124KP2, 124PS01, 124KP2C a 124KP2K
- garant předmětů: 124KP2, 124KP2K, 124P01C, 124P02C, 124PE1,124YKSD
- vedení diplomových a bakalářských prací
- 6 oceněných vedených DP a BP prací: 2. místo v soutěži WTA CZ (2014), 2x 2. místo v soutěži SVOČ (2015 a 2013), 3. místo v soutěži SVOČ (2014), 2x pochvala za vynikající zpracování BP.
- školitel specialista studentů doktorského studia (2 doktorandi)
- člen komisí státních závěrečných zkoušek a komisí pro obhajoby DP/BP
- člen pedagogické komise Akademického senátu Fakulty stavební
- katedrový koordinátor studijních plánů a pedagogické činnosti
- spoluautor učebnice pro střední školy Pozemní stavitelství I, Grada, 2014

BIVŠ

- přednášky předmětů: B109RMS1 a B109RMS2 (v letech 2009-2011)

ČLENSTVÍ V ODBORNÝCH SPOLEČNOSTECH A AKADEMICKÝCH ORGÁNECH

- člen The Concrete Society, Camberley, Surrey, Velká Británie
- člen WTA CZ - Vědeckotechnická spol. pro sanace staveb a péči o památky
- člen akademického senátu Fakulty stavební, ČVUT v Praze

PROJEKTY (GRANTY)

Podílel se na řešení celkem 8 výzkumných projektů: TAČR-TA03010501 Optimalizovaný subtilní skelet pro energeticky efektivní výstavbu (spoluřešitel); SMV-8301404A055 (smluvní výzkum) s firmou Nekap s.r.o. Analýza hloubkového účinku krystalizačního nátěru Xypex Concentrate (hlavní řešitel); Výzkumný záměr MSM6840770001 Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí (člen řešitelského týmu); projekt MŠMT č. 05 042815 (člen řešitelského týmu); projekty SGS13/110/OHK1/2T/11 (hlavní řešitel) a SGS15/128/OHK1/2T/11 (spoluřešitel); projekt FRVŠ 2167/2009/G1 (spoluřešitel) a projekt CTU0700111 (hlavní řešitel).