

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Diplomová práce

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lukáš Jméno: Petr Osobní číslo: 424386  
Zadávací katedra: K124  
Studijní program: Budovy a prostředí  
Studijní obor: Budovy a prostředí


### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI


Název diplomové práce: Pevnosti vzor 37 - stavebně-technický průzkum a možnosti sanace  
Název diplomové práce anglicky: Bunkers no.37 - structural survey and conservation method  
Pokyny pro vypracování:  
Rešerše konstrukčního řešení československých pevností vzor 37 z 30. let 20. stol., stavebně-technický průzkum vybranných objektů, koncepční návrh vybranných sanačních opatření.

Seznam doporučené literatury:  
Pazderka, J.; Reiterman, P.: Czech WW2 Concrete Fortifications: Corrosion Processes and Remediation Method Based on Crystallizing Coating, Acta Polytechnica, 2019, 59(4), p. 359-371.  
Barnes R.: Permeability Testing of Site Concrete. The Concrete Society, Camberley, 2008.  
Stehlík F., Kupka V.: Pěchotní srub Na Holém, Fortprint, Dvůr Králové nad Labem, 1994.

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 26.9. 2019 Termín odevzdání diplomové práce: 6.1. 2020  
*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 nutné 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“.*

26.9. 2019  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

### **Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího doc. Ing. Jiřího Pazderky Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 5.1.2020

.....

podpis

## **Poděkování:**

Tímto bych rád poděkoval panu doc. Ing. Jiřímu Pazderkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, dále paní prof. Ing. Mileně Pavlíkové, Ph.D., z Katedry materiálového inženýrství a chemie, za vstřícnou konzultaci a paní Ivaně Loušové, z laboratoře Katedry pozemních staveb, za vstřícnost a odborný dohled při laboratorních zkouškách. Dále bych chtěl poděkovat celému řešitelskému týmu projektu NAKI II DG18P02OVV063 (pracovníkům Katedry konstrukcí pozemních staveb a Experimentálního centra Fakulty stavební, ČVUT v Praze) za možnost podílet se s nimi na tomto projektu. Velice děkuji také své rodině a přátelům za podporu nejen při zpracovávání této diplomové práce.



**Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický  
průzkum a možnosti sanace**

**Bunkers no. 37 – structural survey and  
conservation method**

## **Anotace:**

Diplomová práce je zaměřena na provedení rozsáhlého stavebně-technického průzkumu lehkých vojenských pevností vzor 37 včetně popisu jejich jednotlivých poruch. V první fázi byla provedena rešerše podkladů pojednávajících o problematice těchto objektů. V rámci stavebně-technického průzkumu bylo provedeno nejen orientační měření vlhkosti konstrukcí několika objektů, ale i dlouhodobější analýza vlhkostního chování konstrukcí jednoho vybraného objektu lehkého opevnění vz. 37. Do stavebně-technického průzkumu byly zahrnuty také laboratorní zkoušky vápenných výkvětů. Dále jsou v této diplomové práci uvedeny koncepční návrhy možností sanace vybraných poruch objektů lehkého opevnění vz. 37.

## **Klíčová slova:**

Lehké opevnění vzor 37, železobeton, sanace, omítka, vlhkost konstrukcí, vápenné výkvěty

## **Abstract:**

The diploma thesis is focused on carrying out an extensive structural survey of bunkers no.37, including a description of their defects. In the first phase a research of materials concerning the bunkers was carried out. Within the structural survey research was executed not only an indicative measurement of moisture in structures of several buildings, but also a longer-term analysis of the moisture behaviour of structures of selected bunker no.37. Laboratory tests of lime efflorescence were also included in the structural survey. Further, in this diploma thesis there are conceptual proposals of conservation method for remediation of selected defects of bunkers no.37.

## **Key words:**

Bunkers no.37, re-inforced concrete, conservation method, plaster, damp construction, lime efflorescence



## **OBSAH**

OBSAH.....	7
1 ÚVOD.....	9
2 PROBLEMATIKA PEVNOSTNÍCH OBJEKTŮ - REŠERŠE.....	10
2.1 Historie.....	10
2.2 Rozmístění objektů na území Československa.....	12
2.3 Popis objektů lehkého opevnění vzoru 37.....	14
2.3.1 Výstavba objektů lehkého opevnění.....	14
2.3.1.a Beton.....	14
2.3.1.b Portlandský cement.....	15
2.3.1.c Kamenivo.....	19
2.3.1.d Voda.....	19
2.3.2 Rozdělení objektů lehkého opevnění vz. 37.....	20
2.3.3 Označení lehkého opevnění.....	27
2.3.4 Větrání objektů.....	28
3 STAVEBNĚ – TECHNICKÝ PRŮZKUM.....	29
3.1 Poruchy objektů LO vz. 37.....	48
3.1.1 Vlhkost betonových konstrukcí.....	48
3.1.2 Vápenné výkvěty.....	49
3.1.3 Ztráta přílnavosti (adheze) omítky k podkladu.....	50
3.1.4 Nedostatečná krycí vrstva výztuže.....	51
3.1.5 Destrukce částí konstrukcí LO.....	52
3.2 ANALÝZA BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ.....	53
3.2.1 Vlhkost konstrukcí.....	53
3.2.1.A Měření vlhkosti in-situ.....	53
3.2.1.b Měření kapacitním vlhkoměrem.....	55



3.2.1.c Měření odporovým vlhkoměrem .....	64
3.2.2 Laboratorní rozbor vápenných výluhů.....	81
3.2.2.a Kvalitativní (kolorimetrická) analýza .....	83
3.2.2.b Kvantitativní (fotometrická) analýza .....	84
3.2.2.c Metoda ED-XRF Spectroskopie .....	89
3.2.2.d Mikroskopická analýza .....	92
4 KONCEPČNÍ NÁVRH SANAČNÍHO OPATŘENÍ.....	94
4.1 Vlhkost betonových konstrukcí .....	94
4.2 Vápenné výkvěty .....	96
4.3 Ztráta adheze omítky .....	97
5 ZÁVĚR .....	98
6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	100
7 POUŽITÁ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	100
8 POUŽITÝ SOFTWARE.....	100
9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY: .....	101



## **1 ÚVOD**

Diplomová práce byla zpracována za podpory výzkumného projektu NAKI II – DG18P02OVV063 s názvem „Vývoj progresivního sanačního postupu pro restaurování a konzervaci vojenských pevnostních objektů z 30. let 20. stol.“ (dále jen NAKI) probíhajícího od roku 2018 do roku 2022 pod vedením doc. Ing. Jiřího Pazderky, Ph.D. (katedra Konstrukcí pozemních staveb) a Ing. Pavla Reitermana, Ph.D. (Experimentální centrum ČVUT v Praze). Cílem projektu je vytvoření funkčního návrhu sanačních opatření aplikovatelných při restauraci a konzervaci vojenských pevnostních objektů z období 2. světové války.

Cílem diplomové práce (dále jen DP) bylo provedení stavebně – technického průzkumu vojenských objektů lehkého opevnění vzor 37 vystavěných na území Československé republiky v letech 1937-38, dále pak provedení analýzy vlhkostních poruch vybraných objektů a následné vytvoření koncepčního návrhu možností sanačních opatření vybraných poruch těchto objektů. Koncepce sanačních opatření byla navržena na základě stavebně – technického průzkumu a vlhkostní analýzy prováděné měřeními na místě (in-situ).

V rámci zpracování DP byla provedena rešerše podkladů v badatelně Vojenského ústředního (historického) archivu v Praze a dále v archivu Kloknerova ústavu a v literatuře, zabývající se tematikou objektů lehkého opevnění.

V rámci stavebně-technického průzkumu objektů lehkého opevnění v různých oblastech Čech a Moravy byly zjištěny poruchy betonových konstrukcí vlivem působení vztlínající vlhkosti a zatékání, dále poruchy konstrukcí vlivem mechanického poškození (opadaná omítka, narušení krytí výztuže, destrukce částí pevností) a chemického poškození (výkvěty betonu). Na základě zjištěných poruch vlivem vlhkosti betonových konstrukcí byl proveden vlhkostní průzkum a chemická analýza vápenných výluhů na povrchu betonových konstrukcí.



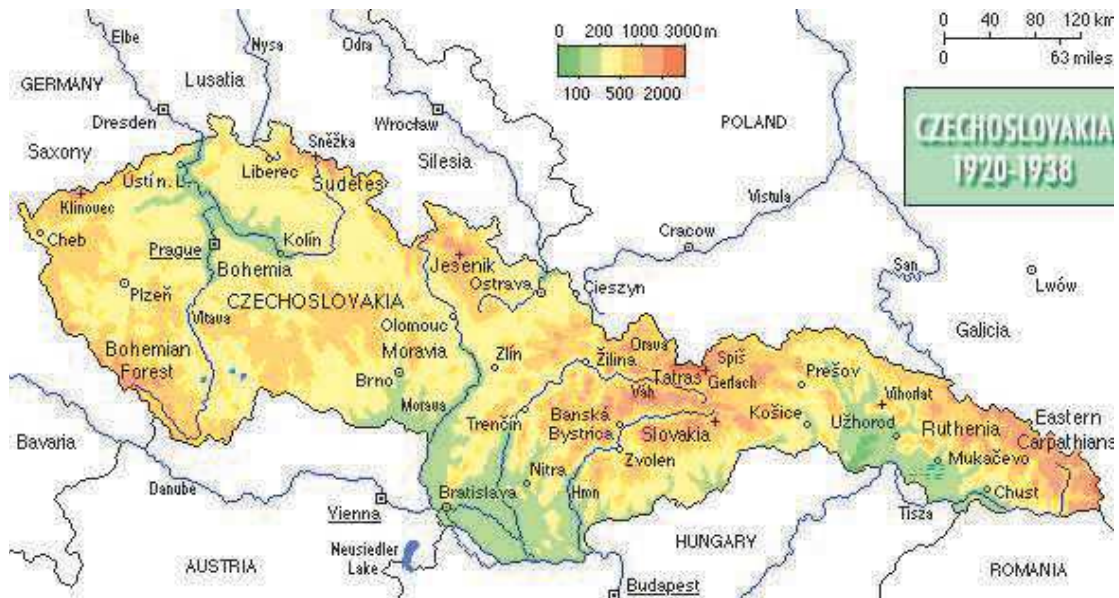
## **2 PROBLEMATIKA PEVNOSTNÍCH OBJEKTŮ - REŠERŠE**

### **2.1 Historie**

V roce 1918 byla založena Československá republika jakožto samostatný evropský stát, který se rozprostíral na území Čech, Moravy, Slezska, Slovenska a Podkarpatské Rusi. Již po vzniku Československé republiky existovala obava z napadení vojsky sousedních států a vznikla otázka, jakým způsobem by se měly bránit hranice nově vzniklého území Československa. Tehdejší nestabilní evropská politická situace byla závislá na ženevské konferenci o odzbrojení. Edvard Beneš, který v té době (v r. 1932) působil jako ministr zahraničí si byl vědom toho, že pokud konference nebude úspěšná, existuje riziko politické a vojenské krize, na kterou je třeba se připravit. Po nástupu Adolfa Hitlera do funkce německého kancléře se stala potřeba ochrany území Československa nutností. V úvahu přicházely dvě varianty způsobu obrany. První variantou bylo vytvoření modernizované, motorizované armády, která by byla schopna se přemísťovat po území Československa dle aktuální potřeby. Druhou variantou obrany bylo vybudování soustavy stálých pevnostních úseků, které by hlídaly a bránily ohrožené hranice státu. Tato varianta byla podporována nejen tuzemskou společností, ale také Francií, která byla naším západním spojencem, jenž by mohl pomoci při napadení nepřátelskými vojsky. V roce 1934 byl vydán rozkaz na vybudování opevnění a byly zahájeny terénní průzkumy úseků pro umístění pevnostních objektů. 20. března 1935 byla zřízena Rada pro opevňování (RO), která měla za úkol zajišťování finančních prostředků, pracovníků a materiálu potřebných pro výstavbu opevnění a určování postupu prací dle naléhavosti, a Ředitelství opevňovacích prací (ŘOP), jehož úkolem byla výstavba pevnostních objektů (z tohoto důvodu se objektům lehkého opevnění lidově říká „ŘOPÍKY“).



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 1 Zeměpisné uspořádání Československa v letech 1920 – 1938 (Autor: Mariusz Pazdziora – Vlastní dílo, CC BY 3.0, [1])

Plán opevňování byl složen ze tří opevňovacích programů. První program byl schválen v prosinci roku 1935. V tomto programu byla navržena výstavba dvousledového těžkého opevnění na severní hranici republiky (od Odry po Labe), jehož úkolem bylo krýt taktický ústup armády od západu k východu po tzv. úhlopříčkách až na pomezí Čech a Moravy, kde by za pomoci spojenců armáda přešla do protiútoky (tato taktika počítala s přátelstvím Polska a neutralitou Rakouska). Druhý program byl schválen v červnu 1936. V rámci tohoto programu mělo být provedeno těžké opevnění podél hranic celého území Československa. Tento program byl velice finančně nákladný. Následně byl v listopadu 1937 schválen třetí program opevňování. V této fázi měla být provedena výstavba lehkých objektů vz. 37 po celém obvodu hranic a na ústupových příčkách. Tyto objekty měly být posíleny na nejohroženějších úsecích linií těžkého opevnění. Celkově mělo být postaveno více než 15 tisíc objektů lehkého opevnění a více než 1,2 tisíce objektů těžkého opevnění. Celá výstavba byla plánována na období 10 let. Ačkoliv se podařilo postavit velké množství lehkých i těžkých opevnění, nebyla výstavba dokončena. Některé objekty zůstaly rozestavěné a některé se vůbec nezačaly stavět. Dne 23. září byla vyhlášena všeobecná mobilizace, během které bylo povoláno 1,25 mil. mužů k obraně státu. V noci z 29. na 30. září byla Německem, Velkou Británií, Francií a Itálií podepsána Mnichovská dohoda, která nařizovala opuštění vojenských pevností na území Sudet. Mnoho vojáků





s tímto rozhodnutím nesouhlasilo a jako symbol protestu se rozhodli pevnosti poškodit (např. zapálení vnitřního dřevěného obložení (tzv. výdřevy)). Objekty lehkého opevnění vz. 37, které se nacházely na území Protektorátu, jenž nebyl ovládán Wehrmachtem, byly naprosto zničeny nebo alespoň deaktivovány pomocí zabetonování vnitřních prostor, aby nebylo možné tyto pevnosti použít pro odboj proti Wehrmachtu. Pevnosti, které se nacházely na území Sudet (území ovládané Wehrmachtem) se z velké části dochovaly v původním stavu, neboť se nepředpokládalo jejich vyžití pro odboj. Objekty byly Wehrmachtem odstřelovány pomocí trhavin, které byly umístěny uvnitř pevností. Některé objekty byly využity pro testování účinnosti palebné síly německé armády včetně bombardovacích letounů Luftwaffe. Toto testování bylo prováděno za účelem zjištění odolnosti pevností a pro plánování taktiky boje, kterou by bylo možné využít při boji se spojeneckými státy, jež měly vlastní linie opevnění (např. Maginotova linie ve Francii), které byly velmi podobné pevnostem na území Československa. Pevnosti dokázaly odolat velké palebné síle (včetně bombardování Luftwaffe), aniž by ztratily svou funkčnost. Jediným spolehlivým způsobem destrukce objektů bylo pouze pomocí odstřelu zevnitř pevnosti, neboť s tímto namáháním se při návrhu konstrukcí nepočítalo.

Po skončení 2. světové války (v 50. letech) byly některé objekty lehkého i těžkého opevnění obnoveny (tzv. reaktivovány) pro ochranu hranic před „imperialistickými“ nepřáteli a byly také využívány pro vojenská cvičení. Během reaktivace často docházelo k úpravám jako např. maskovací nátěry, nebo osazení modernějších zbraní. V 80. letech došlo k opuštění většiny pevností a byly ponechány bez další údržby. V současné době je několik objektů těžkého opevnění využíváno českou armádou, další lehké i těžké objekty jsou v péči Klubů vojenské historie, ale většina lehkých i těžkých objektů je ponechána bez údržby.

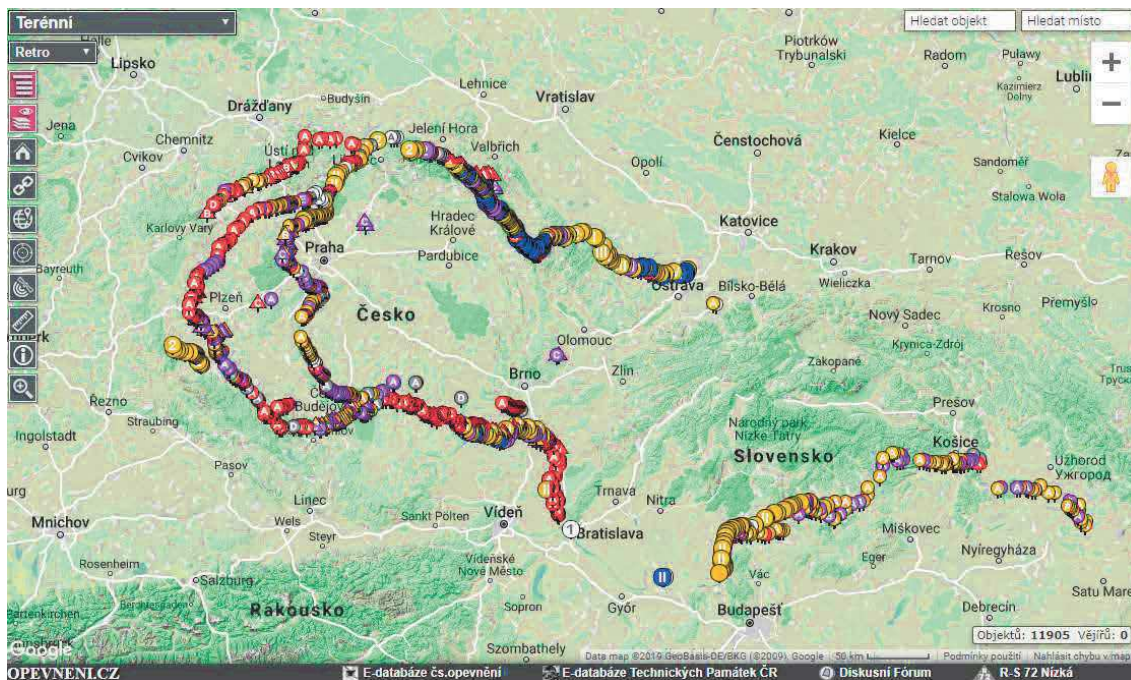
## **2.2 Rozmístění objektů na území Československa**

Vojenská opevnění na území Československé republiky byla budována na základě politického vývoje v letech 1935 – 1938. Opevnění jsou umístěna především v pohraničních oblastech (hranice s Německem, Rakouskem, Maďarskem a Polskem). Další obranná linie byla postavena na ústupových příčkách (tzv. Pražská čára a Plzeňská čára) pro případ, že by německá vojska prolomila pohraniční opevněné oblasti. Následující obrázky znázorňují rozmístění opevňovacích staveb (dokončených,

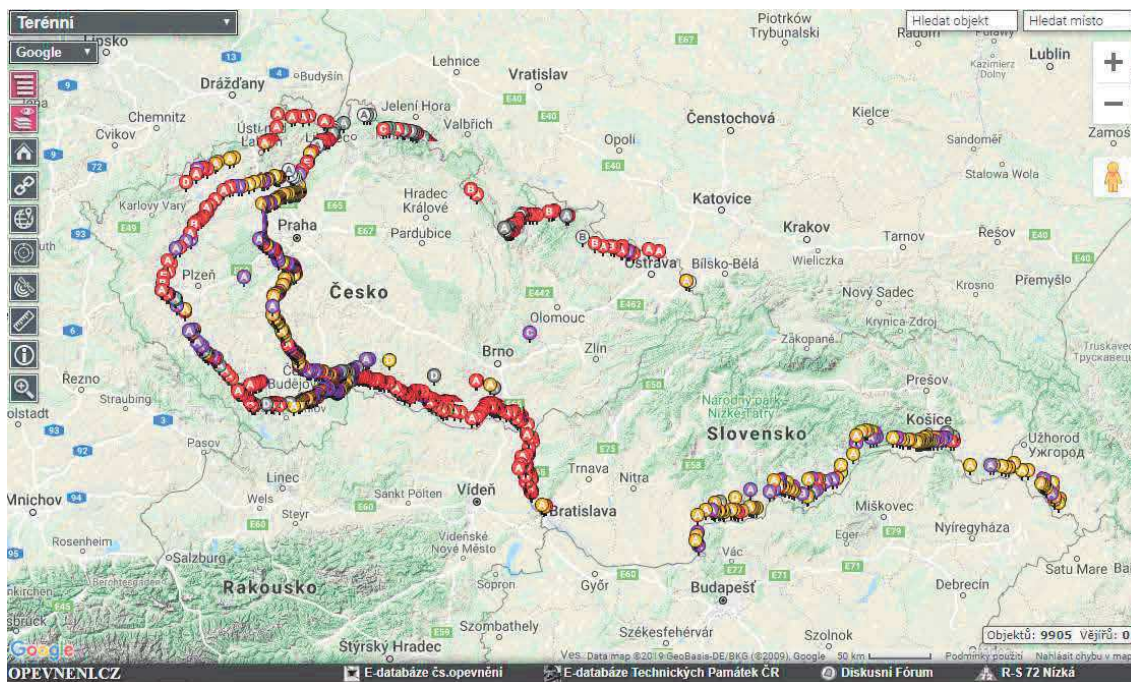


## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

rozestavěných i plánovaných) na území Československa. Na Obr. 2 jsou zobrazeny veškeré stavby lehkého i těžkého opevnění a dělostřeleckých tvrzí. Obr. 3 znázorňuje objekty lehkého opevnění vzoru 37.



Obr. 2 Mapa plánovaných opevňovacích staveb na území Československa (Zdroj: [2])



Obr. 3 Mapa lehkého opevnění vz. 37 (Zdroj: [2])



## **2.3 Popis objektů lehkého opevnění vzoru 37**

Jedná se o vojenské objekty určené k obraně hranic státu před nepřátelskými vojsky. V roce 1936 byla zahájena výstavba objektů LO vz. 36. Již při jejich výstavbě byly zjištěny jejich technické nedostatky a omezení. Z tohoto důvodu byla snaha o úpravu koncepčního návrhu lehkých pevností. Výsledkem snažení bylo, že se v roce 1937 zahájila výstavba nových, takticky a technicky dokonalejších lehkých pevností vz. 37 (tzv. „Řopíky“) s odstraněnými nedostatky vz. 36. Tyto objekty byly budovány v letech 1937 – 1938.

Opevňovací objekty jsou tvarově velmi jednoduché stavby tvořené masivními železobetonovými konstrukcemi z vysokopevnostního betonu. Tyto objekty mají oproti běžným stavbám (ať už tehdejší nebo dnešní doby) výrazné odlišnosti zejména z hlediska typologie (dispozice, chybějící okna, ...), konstrukčního návrhu (dimenzování konstrukcí, ...) a technologie výstavby (rychlá výstavba v náročných podmínkách, ruční hutnění, ...).

### **2.3.1 Výstavba objektů lehkého opevnění**

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3, opevňovací objekty, jež byly budovány v letech 1937 – 1938, jsou velice specifické stavby. V této kapitole bude pojednáno o požadavcích na výstavbu předmětných objektů. Bude zde přiblížena problematika použitých materiálů konstrukcí (železobetonu) a samotné betonáže.

#### **2.3.1.a Beton**

V předválečném období (rok 1937) byl beton považován za moderní materiál s vynikajícími konstrukčními vlastnostmi. Jeho výhodami vůči zděným konstrukcím (cihelným, kamenným atd.) byla především vyšší únosnost i při použití malých průřezů, schopnost odolávat účinkům vodorovného zatížení, zvyšující se pevnost vlivem stárnutí betonu, celistvost a tuhost konstrukcí, tvárnost (vytvoření jakéhokoliv tvaru konstrukce), ohnivzdornost, odolnost vůči povětrnostním vlivům a v neposlední řadě také cena materiálu. Vzhledem k nízké ceně cementu, železa i zpracování betonu, ale také krátké době výstavby, bylo použití betonu v té době velmi ekonomické.





Jelikož se v období 30. let 20. století beton jako moderní stavební materiál používal relativně krátkou dobu (v řádu desetiletí), nebyly tehdy ještě známy všechny vlastnosti, možnosti a omezení použití tohoto materiálu, důsledkem čehož docházelo často k pochybení při návrhu i samotné výstavbě. V důsledku vzniklých nehod (zřícení konstrukcí) začalo použití betonu jako stavebního materiálu vyvolávat značné pochyby v neodborné veřejnosti. Na základě těchto událostí byly civilními i vojenskými dohledacími úřady vydávány zvláštní nařízení o betonových stavbách, jako prevence dalších nehod při výstavbě. Stavební firmy byly vázány civilními normami ČSN, především ČSN 1091-1935 Provádění betonářských prací. [27]

### **2.3.1.b Portlandský cement**

Pro výstavbu pevnostních objektů byl používán portlandský cement s obvyklou dobou tuhnutí, jež byla stanovena na maximálně 15 hodin. Doba tuhnutí byla měřena od okamžiku smíchání cementu s vodou do okamžiku ztuhnutí cementové kaše v celém objemu. Specifickým požadavkem na technologii výstavby opevňovacích staveb bylo oddálení počátku tuhnutí. Zatímco u standardních staveb byla 60 minut (hranice mezi pomalu a rychle tuhnoucími betony), u opevňovacích staveb bylo nutné oddálit počátek tuhnutí minimálně na 5 hodin. Tento požadavek byl nutný z důvodu přepravní vzdálenosti a časové náročnosti ukládání a přechování betonové směsi do bednění. Výhodou oddálení počátku byla možnost betonáže velkých ploch bez tvorby pracovních spár, neboť nová vrstva betonové směsi byla uložena do bednění ještě před začátkem tuhnutí předchozí vrstvy. Posunutí počátku tuhnutí bylo dosaženo přimícháním sádrovce a kysličníku křemičitého. Požadavky na složení cementu byly striktně definovány. (Viz. Tab. 1). K této směsi byly pro oddálení počátku tuhnutí přidány 4% sádrovce.

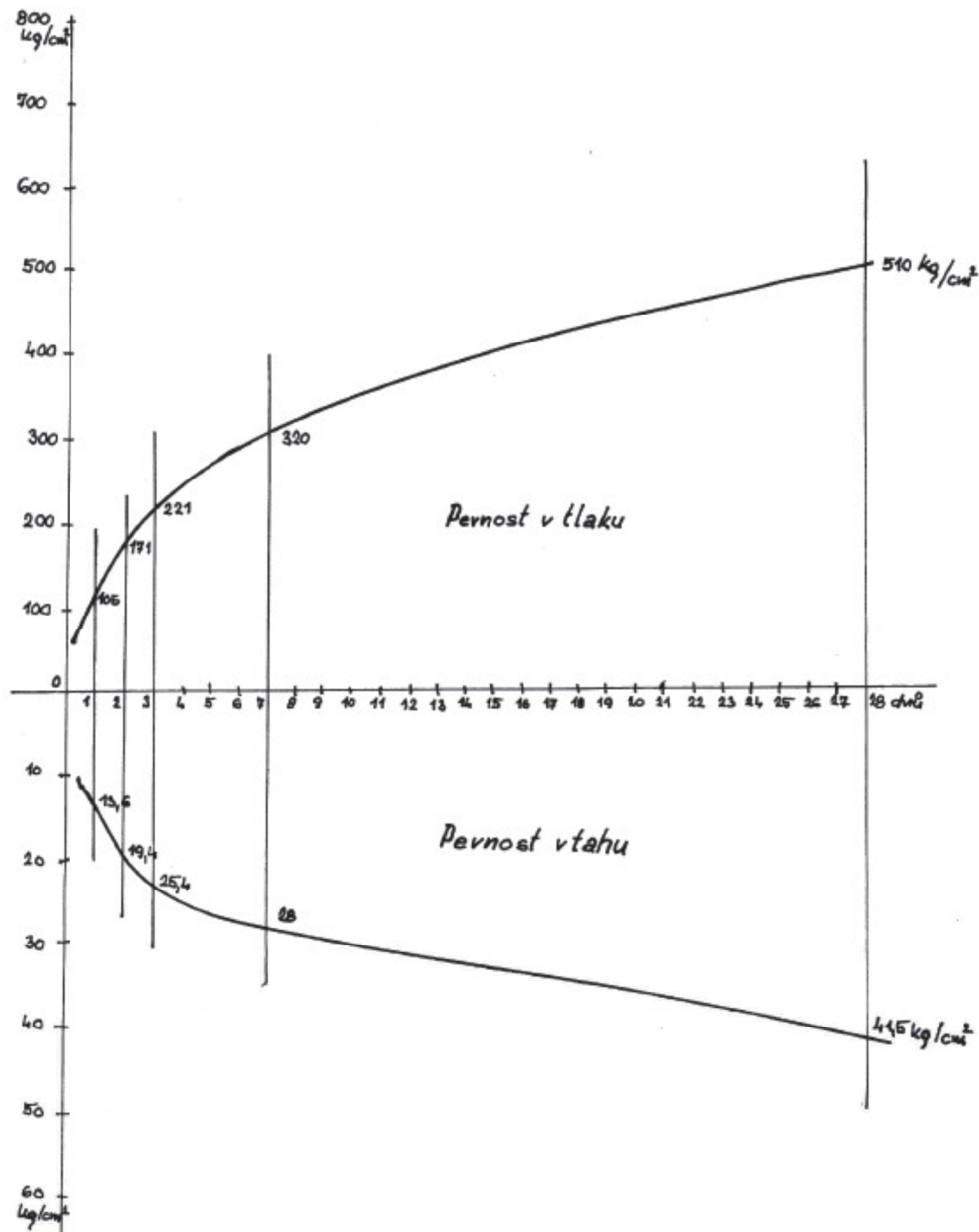
*Tab. 1 Složení slínek pro portlandský cement [3]*

SiO <sub>2</sub>	23,2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,5%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,5%
CaO <sub>3</sub>	64,3%
MgO	1,0%
Ztráta žíháním	0,5%



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

Důležitým kritériem bylo dodržení stejnoměrných vlastností cementu. Pevnost zkoušených vzorků se mohla lišit maximálně o 15%. Nejnižší přípustná pevnost normových tělísek při střídavém uložení měřená po 28 dnech byla 450 kg/cm<sup>2</sup> v tlaku a 40 kg/cm<sup>2</sup> v tahu. Poměr pevností v tlaku a tahu nesměl překročit 1:12. Následující diagram zobrazuje výsledky zkoušky pevnosti z roku 1938. [3]



Obr. 4 Zkoušky pevnosti portlandského cementu z roku 1937 (Zdroj: [3])

Na cement byl kladen také požadavek na objemovou stálost, která byla ověřována pomocí tří zkoušek.



### **1) Zkouška zhavení koule:**

Množství 100 g cementu se rychle promíchalo s 18 – 22% vody (množství záviselo na hmotnosti). Následně se ručním hnětením zformovalo do tvaru koule. Správné množství vody bylo poznáno tak, že se směs nedrolila, nebo příliš nemazala prsty.

Poté byla koule vložena na silnější železný plech, jenž byl stejnoměrně ohříván plemenem kahanu. Po krátkém čase nastalo tuhnutí směsi, po jehož počátku bylo možné u rozpínavých cementů pozorovat vznik trhlinek, které u rozpínavějších těles mohli vést až k úplnému rozpadu koule. [3]

### **2) Zkouška sušení koláče**

Smícháním 200 g cementu a optimálního množství vody byla vytvořena cementová kaše normální hustoty. Po důkladném promísení byly vytvořeny 2 koláčky o průměru cca 100 mm, tloušťce uprostřed vzorku cca 10 mm a ztenčující se směrem k okrajům. Koláčky se vložily do dobře uzavřené schránky chráněné před slunečním zářením, v níž byla udržována stálá vlhkost. Po ztuhnutí (nejdříve po uplynutí 24 hodin) se vzorky umístily do sušárny na dobu 3 hodin. Zde byly zahřívány při teplotě 120 – 130°C. Koláčky nesměly vykazovat žádné změny křivosti (deformace) ani okrajové a síťovité trhlinky. [3]

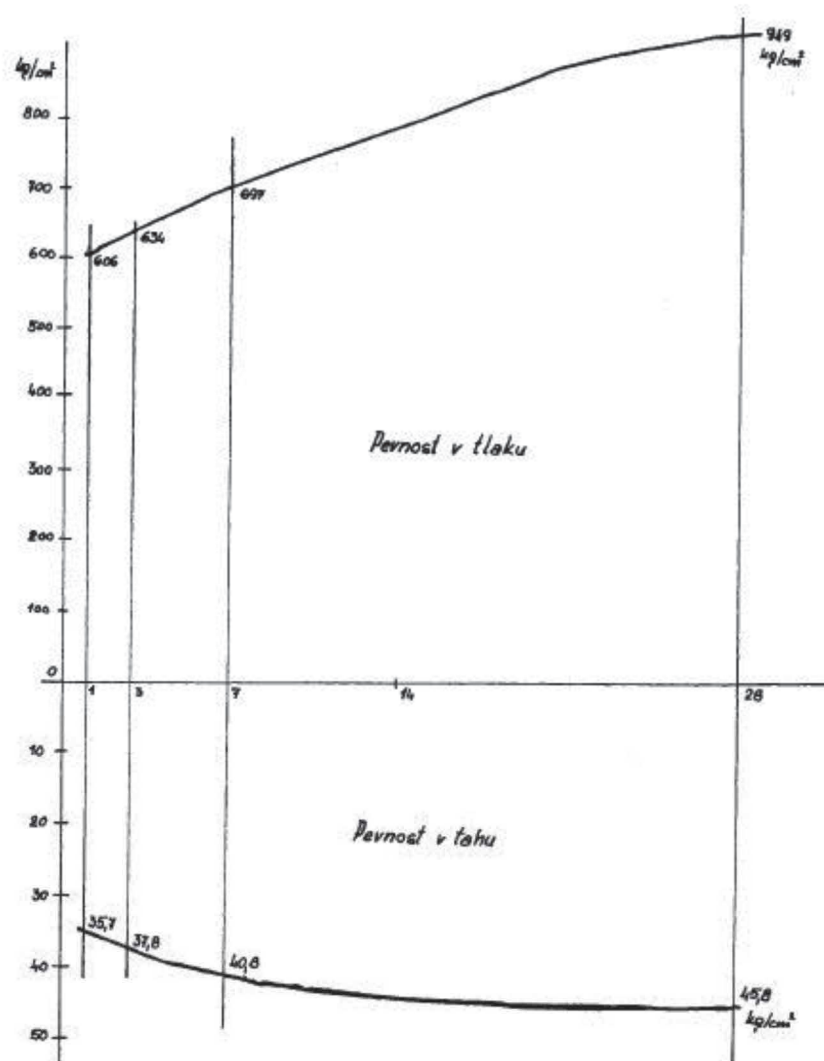
### **3) Zkouška v páře:**

Pro tuto zkoušku byly vytvořeny koláčky analogickým postupem jako při zkoušce sušení koláče. Následně byly vloženy na drátěnou síťku do větší nádoby, jež byla naplněna dostatečným množstvím vody, jejíž hladina byla cca 30 mm pod síťkou s koláčky. Následně se nádoba uzavřela vhodným poklopem, v němž byl umístěn malý otvor. Poté se zahříváním přivedla voda k varu. Ve vzniklé páře se koláčky ponechaly po dobu 3 hodin od počátku varu. Po uplynutí této doby se přerušilo zahřívání vody a celá nádoba včetně vzorků se nechala vychladnout. Po úplném vychladnutí byla provedena kontrola koláčků. Vzorky opět nesměly vykazovat žádné změny křivosti (deformace) ani okrajové a síťovité trhlinky. [3]



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

V neposlední řadě se pro pevnostní objekty používaly také bauxitové (hlinitanové) cementy, jež byly vynalezeny ve Francii. Odlišnosti spočívaly nejen v chemickém složení, ale také způsobem výroby. V porovnání s portlandskými cementy obsahovaly hlinitanové cementy až desetinásobné množství kysličníku hlinitého a malý obsah vápna. Tím byla zajištěna vysoká odolnost vůči sirtým vodám. Jejich zásadní výhodou bylo, že ačkoliv doba tuhnutí byla stejná, jako u portlandských cementů, jejich tvrdnutí bylo velice rychlé. Po uplynutí krátké doby tvrdnutí (cca 12 hodin) dosahovaly stejných pevností, jako portlandské cementy po 28 dnech (viz. Obr. 5). Touto vlastností byla umožněna vysoká rychlost výstavby pevnostních objektů.



Obr. 5 Zkouška pevnosti hlinitanového cementu z roku 1937 (Zdroj: [3])





V minulosti byly hlinitanové cementy používány na rázem namáhané konstrukce (např. železniční pražce, silniční konstrukce či podzemní stavitelství). V dnešní době se hlinitanové cementy nesmí používat pro nosné konstrukce, neboť bylo zjištěno, že tyto cementy špatně odolávají vlhkosti a změnám teplot. V důsledku těchto vlivů ztrácejí pevnost a celistvost. Hlinitanové cementy se s úspěchem používají především ke speciálním pracím, jejichž technologie vyžaduje vysoké počáteční pevnosti.

### **2.3.1.c Kamenivo**

Dalším kritériem zásadně ovlivňujícím kvalitu betonových konstrukcí byla kvalita použitého kameniva a jeho správný poměr vůči cementu. Tehdejší normy definovaly, že pro opevňovací stavby byl použit písek do velikosti zrn 10 mm a pro pevnostní objekty byl používán štěrk (shluk kamenných zrn) o velikosti zrn 20 – 60 mm.

Dle ČSN 1091/1935 nesmělo kamenivo obsahovat více než 3% hm. hlinitých a jílovitých součástí, aby nedocházelo k poklesu pevnosti betonu. Kamenivo používané pro opevňovací stavby muselo být řádně očištěno. Minimální pevnost kameniva užívaného pro opevňovací stavby byla stanovena na 1200 kg/cm<sup>2</sup>, zatímco u tehdejších civilních staveb byla potřebná pevnost pouze 600 kg/cm<sup>2</sup>. Pevnost kameniva byla zjišťována na krychelných vzorcích o hraně 40 – 60 mm. Ačkoliv v roce 1937 nebyl znám vliv tvaru zrn kameniva na vlastnosti betonu, bylo již zjištěno, že plochá zrna jsou ve velkém množství nevhodná.

V tehdejší normě ČSN 1093/1935 byly řešeny zkoušky vlastností kameniva jako jsou měrná váha a objemová váha kameniva, nasákavost kamenných součástí či mezerovitost kameniva.

### **2.3.1.d Voda**

Důležitou součástí betonu, jež ovlivňuje jeho pevnost je voda. Za nejvhodnější pro veškeré dobové stavby (civilní i vojenské) byla považována dešťová voda nebo voda z čistých potoků a řek. Podzemní voda, která se stahovala do studní často obsahovala síran vápenatý, jenž se slučoval s vápnem na sádro a způsoboval rozpínání betonu. Z tohoto důvodu bylo možné použít studniční vodu pouze pro cementy s nepatrným množstvím volného vápna (např. hlinitanové).



Pro určení množství vody v betonové směsi se používá vodní součinitel, jenž udává poměr mezi množstvím vody (v litrech) a množstvím cementu (v kilogramech):

$$w = \frac{\text{voda (l)}}{\text{cement (kg)}}$$

Dle ČSN 1091/1935 se rozlišovaly tři typy betonové směsi podle konzistence:

- Zavlhlou  $w = 0,4 - 0,55$  (i 0,25 při plné saturaci kameniva)
- Měkkou  $w = 0,45 - 0,7$
- Tekutou  $w \geq 0,6$

Pro výstavbu opevňovacích staveb byla nejvhodnější zavlhlá konzistence, neboť zajišťovala dobrou zpracovatelnost na stavbě, zejména při ručním přechování. Díky nízkému vodnímu součiniteli bylo při důkladném zpracování dosaženo největších pevností v tlaku a tahu, houževnatosti a odolnosti vůči opotřebení.

### **2.3.2 Rozdělení objektů lehkého opevnění vz. 37**

Lehké opevnění vz. 37 bylo navrženo a vystavěno v různých typech přizpůsobených dle půdorysného a terénního umístění, a dále dle stupně odolnosti.

Objekty byly rozděleny do dvou stupňů odolnosti – normální a zesílené. Nejvíce budovaným typem byly objekty v normální odolnosti. V místě, kde existovalo zvýšené riziko útoku nepřátelských vojsk se objekty budovaly ve dvou liniích. První linie byla obvykle budována z objektů v zesílené odolnosti a druhá linie z objektů jako podpůrná obrana v normální odolnosti pro případ, že by se nepřátelským vojskům podařilo projít přes první linii. Typologie objektů v obou stupních odolnosti byla totožná. Rozdíl spočíval v síle jejich konstrukcí. Konstrukce objektů v zesílené odolnosti byly o 0,2–0,4 m silnější než u objektů v normální odolnosti (dle typu konstrukce). Podrobnější přehled viz. Tab. 2.

Dle půdorysného tvaru se rozlišovaly typy s označením A–E, z nichž nejrozšířenějším budovaným typem bylo opevnění typu A, které mělo dvě střílny umístěné na protilehlých stěnách. Objekty typu B měly střílny umístěné na sousedních stěnách. Jednalo se tedy o objekty umístěné na nároží linie či v koutovém terénu. Objekty typu C, D a E byly opatřeny pouze jednou střílnou. Objekt typu C byl standardně

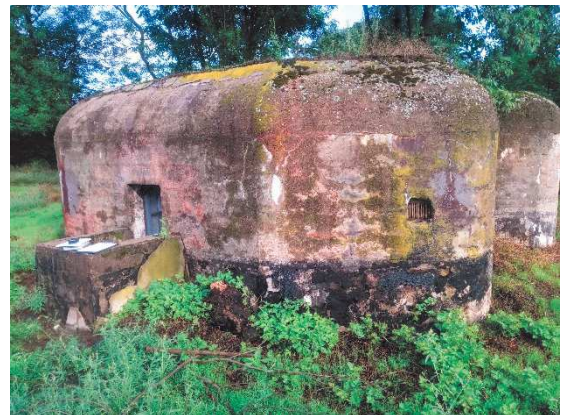
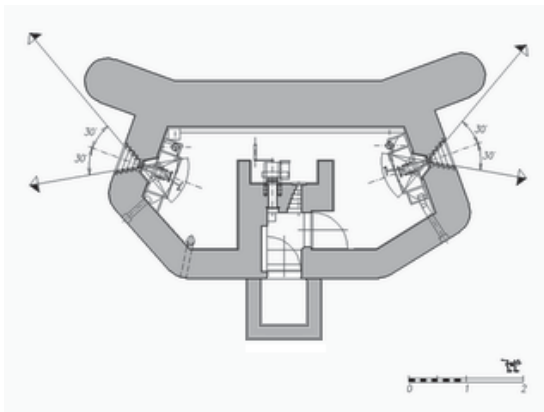


## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

umístován jako doplňkový v těžko přístupném terénu především pro kontrolu přístupových cest. Obsluhu tohoto objektu tvořil 1 až 2 příslušníci ČS armády. Tento typ objektu byl budován pouze v základním stupni odolnosti.

Součástí výstavby lehkého opevnění byly také typy F, G a H. Objekty typu F a G byly dispozičně velmi podobné objektům typu E. Jejich odlišností bylo, že sloužily jako opevnění s protitankovým kanónem (KPÚV - kanón proti útočné vozbě), čemuž byla uzpůsobena nejen střílna, ale také interiér objektů. Objekt typu H byl navržen v roce 1938 jako úkryt pro KPÚV, jeho obsluhu a munici. ŘOP si u těchto objektů bylo vědomo, že nejsou tak technicky promyšlené, jako objekty typu A – E, neboť jim chyběla ventilace a periskopy. Vstup do objektu byl chráněn pouze mříží, což zásadně snižovalo bezpečnost posádky objektu před útokem z týlu. Z těchto důvodů se postavily pouze dva z těchto objektů (1x typ G a 1x typ H) a následně bylo od další výstavby upuštěno.

### Typ A



Obr. 7 Objekt lehkého opevnění vz. 37 – typ A (Zdroj: [4])

Obr. 6 Objekt lehkého opevnění vz. 37 - Typ A

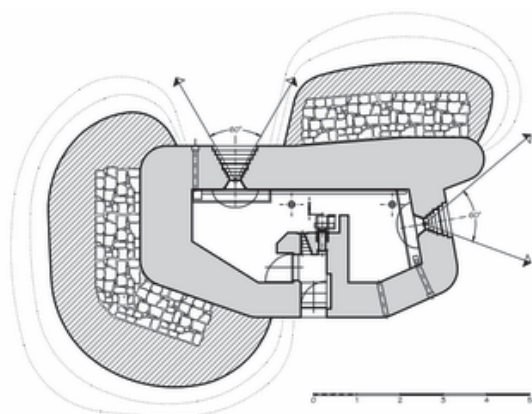
Jedná se o nejčastěji používaný typ lehkého opevnění vz. 37 se dvěma střílnami, určenými pro těžký kulomet na protilehlých stěnách. Vzhledem k malým rozměrům střílen byly pro obsluhu kulometů potřeba dva příslušníci ČS armády. Jeden pro samotnou střelbu z kulometů (míření pomocí lafety s číslováním úhlů) a druhý pro navigaci pomocí periskopu procházejícího stropní (resp. střešní) konstrukcí. Vstup byl standartně chráněn ocelovou mříží (v čelní stěně) a následně pancéřovými dveřmi (ve vnitřní stěně). Závětrí objektu bylo jištěno proti vniknutí nepřátelských vojáků doplňkovou střílnou pro krátkou ruční palnou zbraň (pistol). V centrální části mezi dvěma prostory (tzv. kasematy), ve kterých byly umístěny střílny, se nacházel ručně poháněný ventilátor, kterým byly



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

podtlakově odváděny zplodiny ze střelby z kulometů. Týlová stěna obvykle sloužila jako opěrná stěna pro zemní val, který chránil objekt před detonačními účinky a zároveň jej výborně maskoval. Součástí některých objektů, zejména těch umístěných v blízkosti řek, byla také inundační šachta, jejíž hlavní funkcí byla ochrana před vniknutím vody vstupním otvorem do objektu v případě zvýšené hladiny řek (povodní). Důležitou součástí objektů lehkého opevnění typu A byl také granátový skluz. Ten sloužil posádce opevnění pro boj zblízka v případě, že se nepřítel dostane do bezprostřední blízkosti objektu. Jednalo se o diagonální kanálek ve stěně (obvykle nároží) kasematy. Kanálek byl tvořen pancéřovou rourou. Proti tlakové vlně vzniklé detonací v exteriéru bylo hrdlo roury opatřeno pancéřovým uzávěrem, který byl dimenzován, aby po zaklapnutí západky odolal účinkům tlakové vlny. Objekty typu A byly budovány v normálním i zesíleném stupni odolnosti s vzájemným odklonem střel 120–220 stupňů.

### Typ B



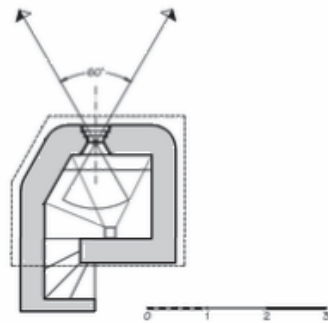
Obr. 9 Objekt lehkého opevnění vz. 37 - Typ B (Zdroj: [4])    Obr. 8 Objekt lehkého opevnění vz. 37 - Typ B

Objekt lehkého opevnění typu B byl vybaven stejně jako objekt typu A. Výbava objektu tedy zahrnovala 2 střílny pro těžký kulomet, jednu střílnu pro krátkou ruční palnou zbraň (pistol), periskopy, granátový skluz, vstupní mříž, vstupní pancéřové dveře, větrací mřížky a ochranný zemní val. Rozdíl byl však v pozici kulometných střílen, jež byly v objektech typu B umístěny na sousedních stěnách.





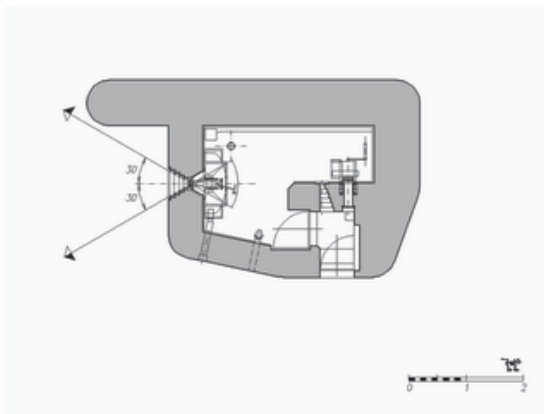
### **Typ C**



Obr. 10 Objekt lehkého opevnění vz. 37 – Typ C (Zdroj: [4])      Obr. 11 Objekt lehkého opevnění vz. 37 - Typ C

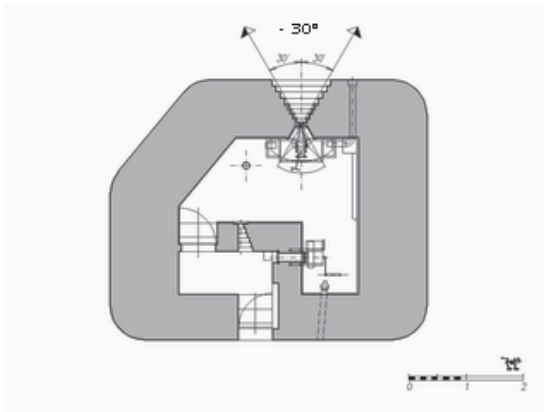
Objekty typu C byly nejjednodušším a nejmenším typem lehkého opevnění vz. 37. Jednalo se o doplňkové objekty využívané zejména ke kontrole cest v těžko přístupném terénu. Jejich obsluhu zajišťovali 1-2 příslušníci ČS armády. Tyto objekty byly opatřeny pouze jednou střílnou určenou pro lehké palné zbraně. Vzhledem k účelu těchto opevnění byly budovány pouze v základním stupni odolnosti a nebyly opatřeny ventilátorem. Jedná se o méně užívaný typ lehkého opevnění.

### **Typ D**



Obr. 12 Objekt lehkého opevnění vz. 37 – Typ D [1]      Obr. 13 Objekt lehkého opevnění vz. 37 - Typ D

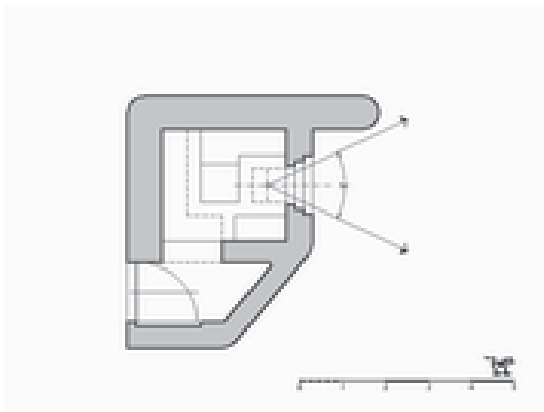
Jedná se o objekty vybavené jednou střílnou v boční stěně, jejichž zařízení je stejné jako v zařízení typů A a B. Objekty jsou vybaveny ochrannou mříží, pancéřovými dveřmi, periskopem, ručním ventilátorem, větracími otvory, granátovým skluzem a střílnou pro malé ruční palné zbraně. Týlová stěna sloužila jako opěrná konstrukce pro ochranný zemní val.



Obr. 14 Objekt lehkého opevnění vz. 37 – Typ E  
(Zdroj: [4])

### **Typ E**

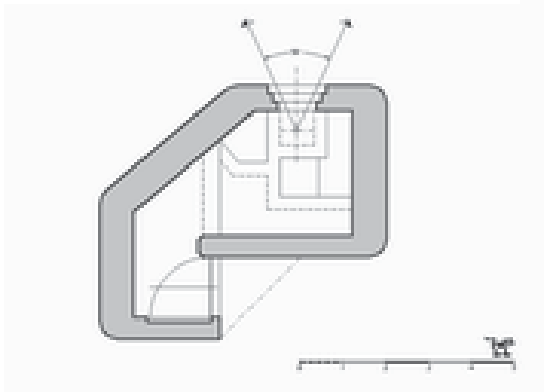
Tyto objekty byly určeny pro umístění v terénu bez zemního valu. Budovány byly ve dvou stupních odolnosti. Pevnosti byly opatřeny jednou střílnou pro těžký kulomet, periskopem, střílnou pro malé ruční palné zbraně, ručním ventilátorem, větracím otvorem, ochrannou mříží, pancéřovými dveřmi a granátovým skluzem. Jedná se o méně častý typ.



Obr. 16 Objekt lehkého opevnění vz. 37 – Typ F  
(Zdroj: [4])

### **Typ F a G**

Objekty typu F a G byly určeny pro osazení protitankovými kanóny. Z hlediska tvaru se od sebe oba typy výrazně nelišily. Hlavním rozdílem bylo umístění objektů. Objekt typu F byl opatřen ochranným zemním valem, zatímco objekt typu G byl určen k umístění bez zemního valu. Nedostatky těchto objektů byly zejména provedení v základní odolnosti, chybějící mechanická ventilace, či zabezpečení vstupu do objektu pouze pomocí mříže bez pancéřových dveří. Právě zmíněné chybějící pancéřové dveře vystavovaly obsluhu kanónu nebezpečí. V případě, že se nepřítel dostal do bezprostřední blízkosti vstupu, byla obsluha v podstatě odkryta.



Obr. 15 Objekt lehkého opevnění vz. 37 – Typ G  
(Zdroj: [4])

Z tohoto důvodu bylo od výstavby těchto typů ustoupeno.

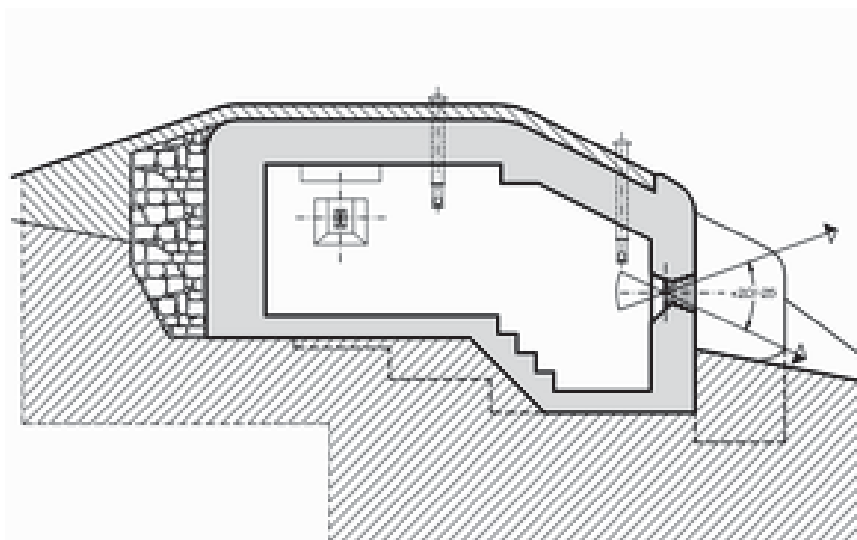


## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průřez a možnosti sanace

Tab. 2 Tloušťky konstrukcí a odolnosti objektů vz. 37

Tloušťky konstrukcí a odolnosti objektů vzor 37 (cm)								
Typ objektu	Čelní stěna	Strop	Boční stěna se střelnou	Boční stěna bez střelny	Týlová stěna	Základová deska	Kamenná předloha	Odolnost zásahům ráží (cm)
A - normální	80	60	60	-	50	30	100	10 - 10,5
A - zesílený	120	100	80	-	80	50	150	15 - 15,5
B - normální	80; 60	60	60	80	50	30	100	10 - 10,5
B - zesílený	120; 100	100	80	120	80	50	150	15 - 15,5
D - normální	80	60	60	80	50	30	100	10 - 10,5
D - zesílený	120	100	80	120	80	50	150	15 - 15,5
E - normální	60	60	-	80	50; 60	30	100	10 - 10,5
E - zesílený	100	100	-	120	70; 80	50	150	15 - 15,5

Kromě mapové pozice (umístění objektu v lokalitě) bylo nutné také řešit zasazení objektu do terénu. Velké množství objektů na území Československa bylo budováno v komplikovaných terénních podmínkách. Jednalo se zejména o objekty umístěné v horských oblastech. Pro adaptaci objektu na terén bylo v těchto oblastech nutné provést úpravy výškového řešení těchto objektů. Příkladem stavební úpravy objektu typu B pro adaptaci na terén je zalomení objektu s prodloužením obvodových stěn (viz. Obr. 17). Výškové úpravy objektů byly navrhovány dle sklonu terénu (viz. Tab. 3).



Obr. 17 Příklad řešení objektu LO vz. 37 typ B ve svahu – Zalomení s prodloužením obvodových stěn [4]





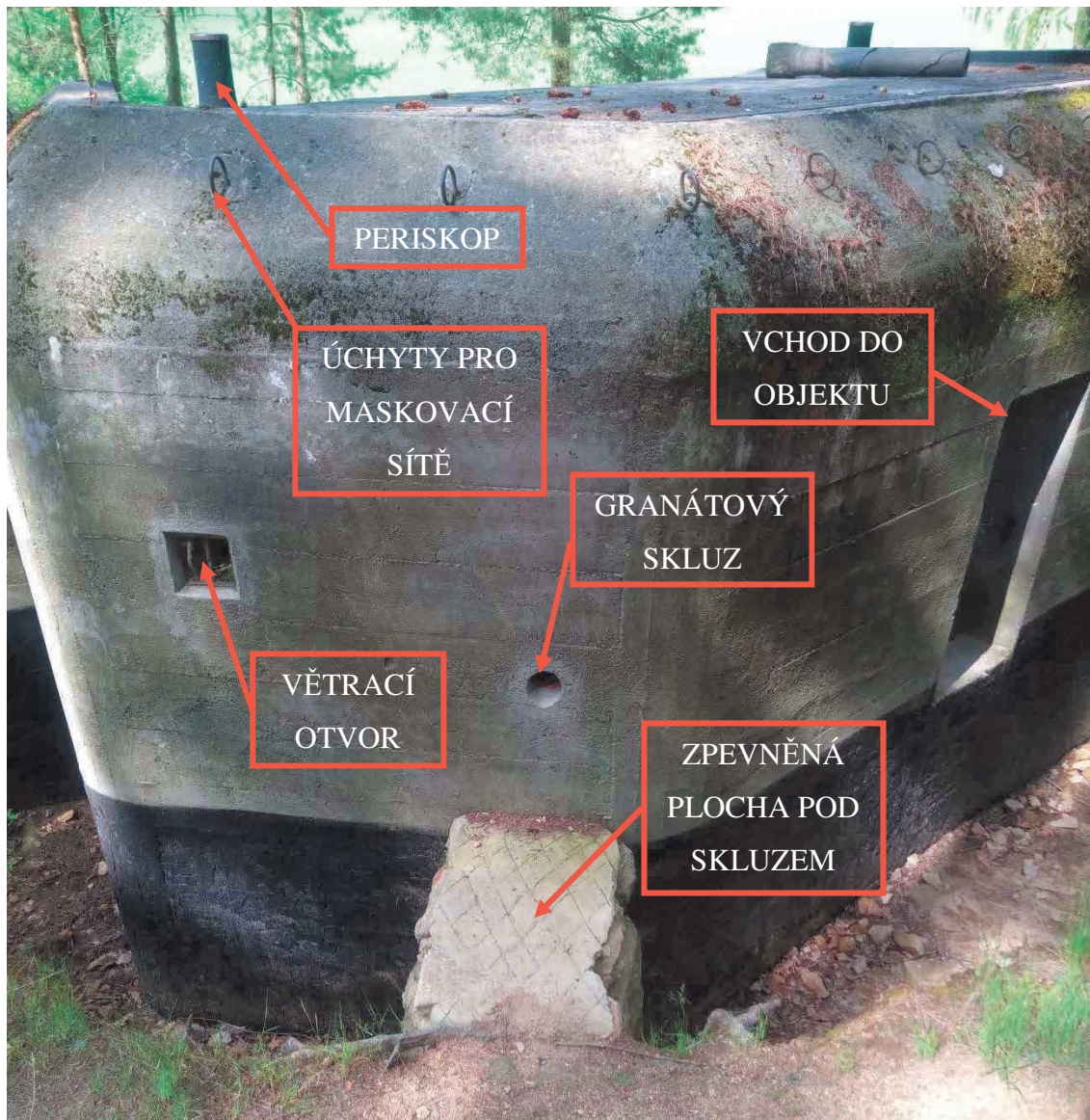
## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

Tab. 3 Vliv sklonu terénu na tvar objektu vz. 37

Vliv sklonu na tvar objektu vz. 37		
Typ	Sklon terénu	Stupeň lomení objektu
A	0 - 4 %	Rovný bez úpravy
	6 - 8 %	Rovný s prodloužením obvodových stěn pod úroveň základové desky
	10 - 12 %	Šikmý
	14 - 26 %	Šikmý s prodloužením obvodových stěn (sklon = 10%)
	28 - 46 %	Lomený s prodloužením obvodových stěn
B	0 - 4 %	Rovný
	6 - 18 %	Rovný s prodloužením obvodových stěn
	20 - 26 %	Lomený
	28 - 46 %	Lomený s prodloužením obvodových stěn
C,D,E		Běžné rovné typy bez ohledu na sklon terénu



Obr. 18 Popis objektu LO vz. 37 – typ A (Foto – autor DP)



Obr. 19 Popis objektu LO vz. 37 – typ A (Foto – autor DP)

### 2.3.3 Označení lehkého opevnění

Každý objekt lehkého i těžkého opevnění měl své jedinečné identifikační označení, které vyjadřovalo, o jaký typ objektu se jedná a kde je umístěn. Označení objektu obsahovalo číslo stavebního úseku, kterým byla vymezena lokalita objektu, dále pak číslo ŘOP, typ objektu, odklon střílen a stupeň odolnosti. Díky tomuto označení bylo patrné, jak daný objekt vypadá a kde je umístěn. Nebylo tedy možné objekty zaměnit.



Příklad označení objektu lehkého opevnění vz. 37:

<b>C-27/</b>	<b>56a/</b>	<b>A-</b>	<b>140</b>	<b>Z</b>
Stavební úsek (Lišany)	Číslování ŘOP	Typ objektu (A - oboustranný)	Vzájemný odklon střílen (140°)	Stupeň odolnosti (Zesílený)

### 2.3.4 Větrání objektů

Z hlediska užívání obranných objektů byl velice specifický způsob jejich odvětrání. Posádku běžných objektů typu A a B (viz. kap. 2.3.2) tvořilo sedm příslušníků československé armády. Vzhledem k tomuto počtu osob v uzavřeném, stísněném prostoru bez okenních otvorů a vzhledem k vysoké produkci zplodin při střelbě bylo nejdůležitější pro bezpečnost posádky zajistit dostatečné odvětrání objektu. Větrání bylo zajištěno pomocí ručního ventilátoru umístěného v centrální části objektu. Jednalo se o ocelovou konstrukci poháněnou ručně pomocí kliky, jež vytvářela v objektu podtlak, díky kterému byl zajištěn odtah zplodin. Přívod vzduchu byl zajištěn pomocí netěsností střílen a větracích otvorů umístěných v rozích kasemat vedle kulometů. Tyto otvory byly na vnější straně stěny opatřeny kovovou mřížkou, aby bylo zabráněno ohrožení posádky v objektu (např. vhozením ručního granátu). Ovládání tohoto ventilátoru bylo velice obtížné, proto bylo k jeho obsluze zapotřebí 2 členů posádky. Jediným typem lehkého opevnění, který nebyl opatřen mechanickým ventilátorem, byl typ C. Vzhledem k jeho účelu (kontrola cest v těžko přístupném terénu) se nepředpokládala déle trvající palba, při které by mohlo dojít k ohrožení obsluhy vlivem vdechnutí nahromaděných zplodin. Díky vnitřním rozměrům a dispozici nedocházelo k hromadění zplodin v interiéru, ale byly odváděny přirozeně vstupním otvorem do exteriéru.





### **3 STAVEBNĚ – TECHNICKÝ PRŮZKUM**

V rámci této DP byl proveden stavebně-technický průzkum pevnostních objektů vz. 37 v několika oblastech na území Čech a Moravy. Cílem stavebně-technického průzkumu byl monitoring poruch takového množství objektů, které by bylo možné prohlásit za reprezentativní vzorek. Terénní průzkumy byly prováděny v Ústeckém, Středočeském, Jihočeském a Jihomoravském kraji. V rámci prováděného monitoringu byly navštíveny nejen dochované objekty (aktivní či zabetonované), ale také objekty po totální destrukci (tzv. rozvalené), u kterých byly ještě patrné jejich pozůstatky (kusy betonu, pozůstatky zemního valu atd.). Z několika rozvalených objektů byly odebrány vzorky betonu pro pozdější provedení mechanických zkoušek v laboratořích Fakulty stavební, ČVUT v Praze. V rámci DP byl využit pouze jeden vzorek pro stanovení korekčního součinitele sloužícího k zpřesnění naměřených hodnot vlhkosti konstrukcí (více viz. kap.3.2.1.c). Z důvodu úspory stránek zde nebudou uvedeny fotografie všech rozvalených objektů. Pro vytvoření představy jsou zde zobrazeny fotografie pouze vybraných rozvalených objektů.

#### **Středočeský kraj**

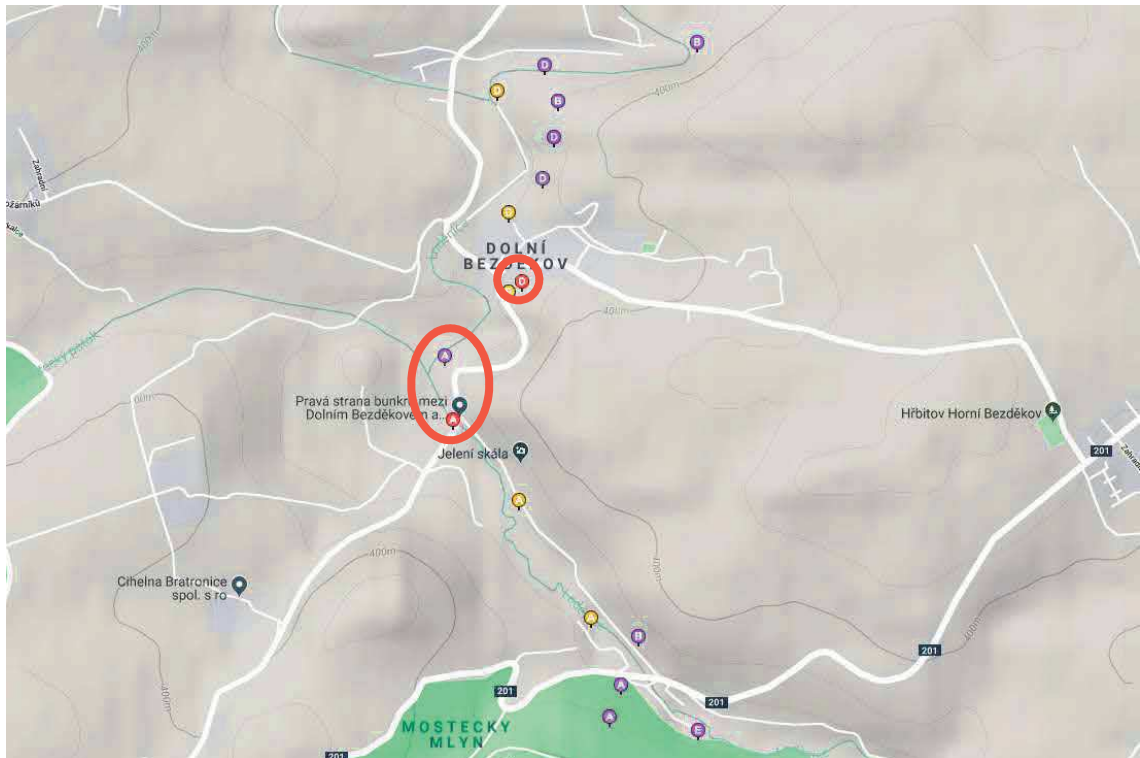
V rámci terénních průzkumů objektů LO vz. 37 nacházejících se ve Středočeském kraji byly navštíveny objekty v okolí obcí Dolní Bezděkov, Doksy u Kladna, Slaný, Smečno a Studeněves.

#### **Dolní Bezděkov**

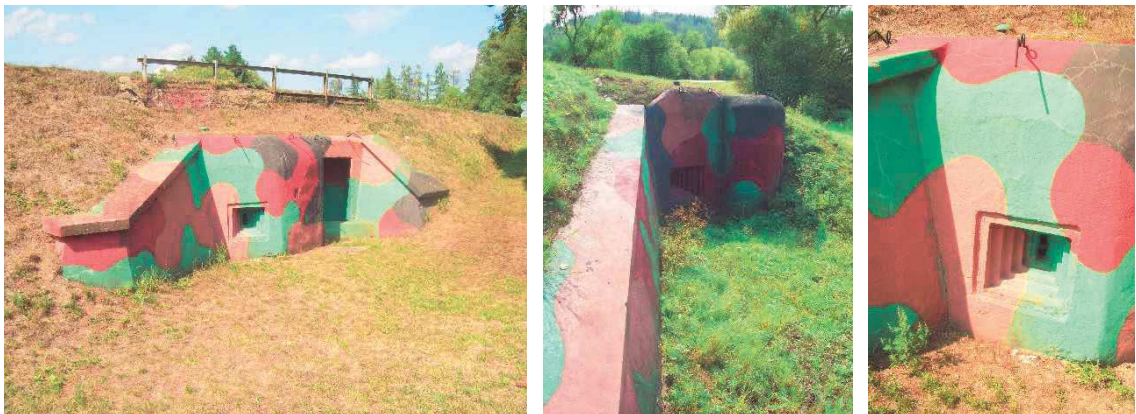
Při provádění průzkumu objektů u obce Dolní Bezděkov byly navštíveny tři objekty, z nichž jeden byl rozvalený a dva dochované – aktivní. Jeden z dochovaných objektů je atypický svým umístěním. Jedná se pravděpodobně o jediný (zjištěný) objekt LO umístěný přímo pod silničním tělesem (v silničním násypu). V těsné blízkosti tohoto objektu se nachází silniční most přes potok tzv. „Kačák“. Druhý dochovaný objekt je umístěn v lesním porostu na svahové terase nad obcí Dolní Bezděkov.



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr.20 Mapa objektů v okolí obce Dolní Bezděkov (červeně - navštívené objekty) (Zdroj: [2])



Obr. 21, 22 a 23 Aktivní atypický oboustranný objekt LO vz. 37 (A-200Y) pod silničním tělesem – Dolní Bezděkov



Obr. 24 a 25 Rozvalený objekt LO vz. 37 (A-220Z) s pozůstatky zemního valu – Dolní Bezděkov





*Obr. 26, 27 a 28 Aktivní objekt LO vz. 37 (D2Z) – exteriér – Dolní Bezděkov*



*Obr. 29, 30 a 31 Aktivní objekt LO vz. 37 (D2Z) – interiér – Dolní Bezděkov*

### Doksy u Kladna

Při průzkumu objektů LO v okolí obce Doksy u Kladna byl navštíven dochovaný objekt typu A-180, jenž je v péči Klubu vojenské historie (KVH) Doksy. Tento objekt byl původně plně vyplněn betonem. KVH Doksy však zabetonovaný interiér uvolnilo a objekt zrekonstruovalo, včetně konzervace zachovalé původní výdřevy. I přes veškerou snahu o odstranění poruch objektu a provedení nového maskovacího nátěru, se znovu začaly projevovat vápenné výkvěty. Projevy dalších poruch nebyly v termínu průzkumu patrné, neboť rekonstrukce proběhla cca o 3 – 4 roky dříve.



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 32 Mapa objektů v okolí obce Doksy u Kladna (červeně – navštívené objekty) (Zdroj: [2])



Obr. 33 Objekt LO vz. 37 (A-180) - zrekonstruovaný



Obr. 34 Vápenný výkvět



Obr. 35 Osazení lehkého kulometu do střílny



Obr. 36 a 37 Ruční ventilátor a původní dřevěné obložení



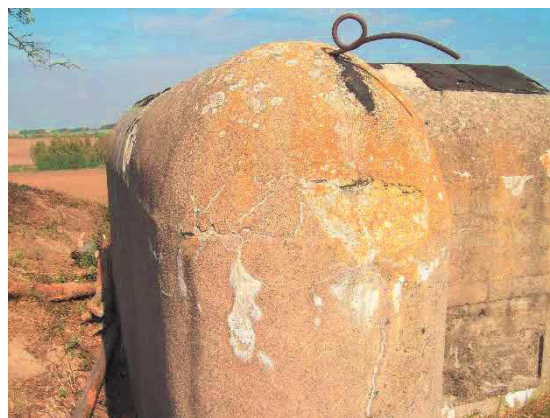


Slaný

V okolí města Slaný se nachází dva dochované objekty typu A-200 a B2-80 v zesílené odolnosti uprostřed polí. Oba tyto objekty byly při provádění terénního průzkumu navštíveny. Jedná se o deaktivované objekty v původním stavu s patrnými projevy poruch betonových konstrukcí. U těchto pevností byla zjištěna přítomnost stropní (resp. střešní) povlakové hydroizolace, která je pokryta pozůstatky krycí cementové omítky. Vzhledem k faktu, že se jedná o jediné navštívené objekty, na nichž byla provedena střešní povlaková hydroizolace, lze předpokládat, že se jedná o dodatečnou úpravu provedenou v poválečném období. Účel a autora této úpravy se však nepodařilo objasnit.



*Obr. 38 Deaktivovaný objekt LO vz. 37 (A-200Z) – Slaný*



*Obr. 39 Vápenné výkvěty, ztráta adheze omítek – Slaný*



*Obr. 40 Zabetonovaná střílna (A-200Z) – Slaný*



*Obr. 41 Dodatečná střešní hydroizolace (A-200Z) – Slaný*



*Obr. 42 Deaktivovaný objekt LO vz. 37 (B2-80Z) – Slaný*



*Obr. 43 a 44 Vápenné výkvěty na vnějším povrchu*



*Obr. 45 Dodatečná asfaltová střešní hydroizolace*



*Obr. 46 Ztráta adheze krycí omítky pod hydroizolací*





### Studeněves

Dalšími zkoumanými pevnostmi LO byly objekty u obce Studeněves. Opět se jedná o dochované objekty typu A-200Z, z nichž se však jeden nachází na soukromém pozemku (zemědělské usedlosti) a nebylo možné si jej blíže prohlédnout. Z uvedené fotografie (Obr. 50) je patrné obnovené maskování, které značí, že se pravděpodobně objekt nějakým způsobem udržuje. Na webových stránkách [4] jsou uvedeny fotografie objektu, z nichž je patrné, že objekt patří Klubu vojenské historie, který provedl jeho celkovou rekonstrukci opevnění včetně vnitřního vybavení.



Obr. 47 Objekt LO vz. 37 (A-200Z) v křovinách – Studeněves



Obr. 48 Vápenné výkvěty, ztráta adheze omítky



Obr. 49 Pozůstatek výztuže pro uchycení maskovací sítě



Obr. 50 Nepřístupný objekt (A-200Z) s obnoveným maskováním

### Smečno

Poslední obcí, navštívenou v rámci průzkumu ve Středočeském kraji, byla obec Smečno, ve které je umístěno LO vz. 37 typu B2 – 80Z. Tento objekt spravuje Klub vojenské historie Smečno (KVH Smečno), který provedl rekonstrukci opevnění. Stejně,



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

jako v případě objektu LO v obci Doksy u Kladna, se také zde vyskytly opětovné projevy poruch v průběhu cca 5 let od dokončení rekonstrukce.



*Obr. 51 Objekt LO vz. 37 (B2-80Z) - Smečno*



*Obr. 52 Vstup do objektu B2-80Z*



*Obr. 53 Vápenné výkvěty vzniklé po rekonstrukci*



*Obr. 54 Střešní otvor pro periskop*

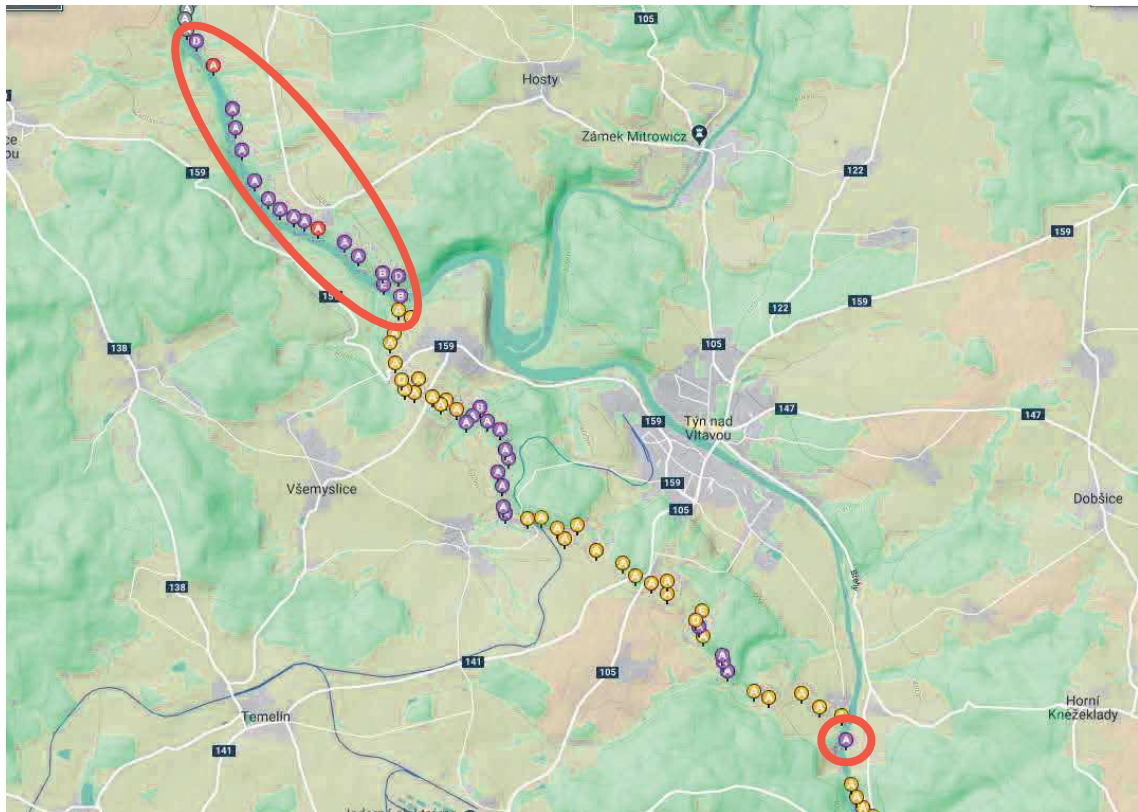
### Jihočeský kraj

Další českou lokalitou, ve které probíhal průzkum objektů, byl Jihočeský kraj. Vybrány byly objekty nacházející se na břehu řeky Vltavy v okolí města Týn nad Vltavou, zejména u obce Pašovice. V této lokalitě se nachází dva dochované (deaktivované) objekty a dále mnoho rozvalených či zahlazených objektů. Při průzkumu tohoto úseku břehu Vltavy bylo navštíveno 15 rozvalených objektů u obce Pašovice a dále jeden rozvalený objekt u obce Hněvkovice (viz. Obr. 55). Pevnosti u obce Pašovice byly záměrně vybrány, i přestože je většina z nich rozvalena. Po vybudování vodní přehrady Orlík byly totiž tyto objekty zatopeny včetně příjezdové kamenné nábřežní cesty. V současné době je možné je navštívit pouze při nízké úrovni hladiny v letních měsících.





## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 55 Mapa objektů v okolí obce Týn nad Vltavou (červeně – navštívené objekty)



Obr. 56 Objekt LO vz. 37 (139/37/A-180Z) - Pašovice



Obr. 57 Odhalená základová spára LO





## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 58 Vápenné výkvěty



Obr. 59 Obnažená prutová výztuž



Obr. 60 Neúplně zabetonování int.



Obr. 61 a Obr 62 Deaktivovaný objekt LO vz. 37 (139/28/A-180Z) s inundační šachtou



Obr. 63 Odhalená základová spára    Obr. 64 Povrch stropní konstrukce – vyústění periskopu

Jak již bylo avizováno v úvodu této kapitoly, nebudou zde zobrazeny všechny navštívené rozvalené objekty. Jako ukázka pro představu postačí uvedení dvou objektů, jež byly rozvaleny (139/27/D2Z; 139/29/A-200Z), a dále jednoho opevnění, jehož výstavba byla započata, ale již nebyla dokončena (139/26/A-160).





*Obr. 65 a Obr. 66 Rozvalený objekt 139/27/D2Z*



*Obr. 67 a Obr. 68 Rozvalený objekt 139/29/A-200Z na břehu Vltavy*



*Obr. 69 a Obr. 70 Nedokončený objekt LO 139/26/A-160 – základová deska na skalnatém podloží*

## **Jihomoravský kraj**

Posledním krajem, ve kterém byl v rámci DP proveden terénní průzkum objektů lehkého opevnění vz. 37, byl Jihomoravský kraj. Během tohoto průzkumu byl navštíven Pevnostní areál Slavonice, dále objekty lehkého opevnění u obcí Šatov, Vrbovec,



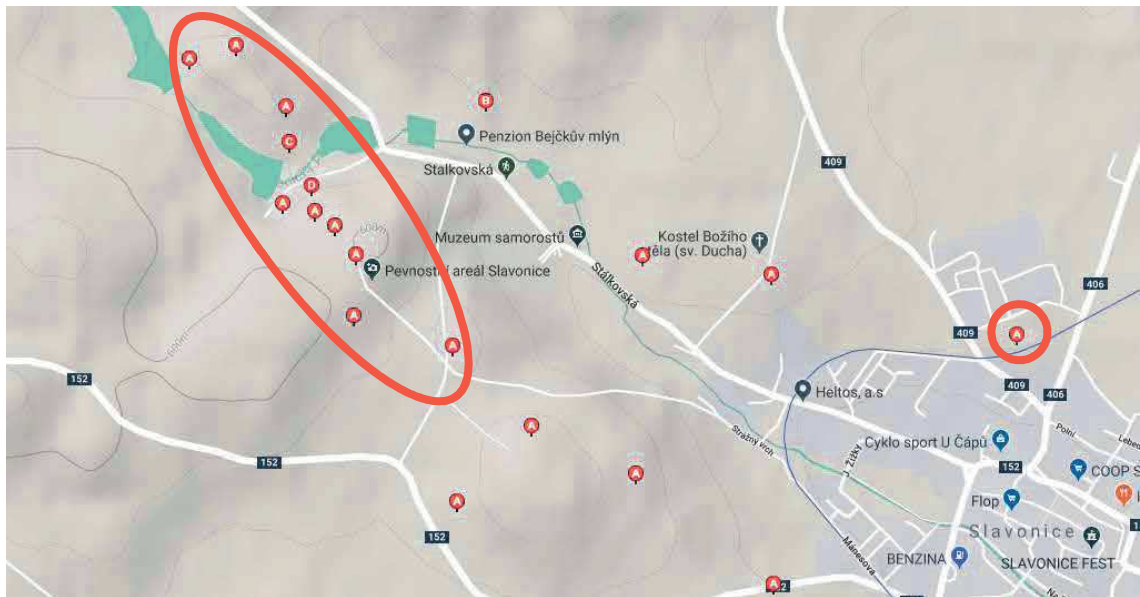


## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

Novosedly a Mikulov. Záměrně byly navštíveny nejen objekty, které jsou ponechány bez údržby, ale také objekty, které jsou udržovány místními spolky KVH.

### Slavonice

V okolí obce Slavonice byl navštíven Pevnostní areál Slavonice, ve kterém se nachází celkem 11 objektů. Další navštívený objekt se nachází na okraji obce.



Obr. 71 Mapa objektů v okolí obce Slavonice (červeně – navštívené objekty)

Na okraji obce Slavonice byl navštíven poškozený objekt lehkého opevnění, který je ponechán bez údržby. Na objektu je patrná značná destrukce zejména okraje týlové stěny, střílen a vstupního otvoru.



Obr. 72 a 73 Poškozený objekt LO vz. 37 (I/1058/A-160)



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

Objekty v Pevnostním areálu Slavonice jsou převážně zrekonstruovány do stavu z období mobilizace v září 1938. Některé objekty jsou zrekonstruovány do stavu socialistické reaktivace v letech 1949-1989. Na okraji areálu se nachází objekt, jež byl obnažen až na základovou spáru pro demonstraci konstrukčních částí objektu, včetně těch, které jsou standardně skryté pod okolním terénem.



Obr. 74, 75 a 76 Obnažený objekt LO vz. 37 (I/1052/A-140) (Popis jednotlivých částí objektu viz. Obr. 18 a Obr. 19)



Obr. 77, 78, 79, 80, 81 Objekt LO vz. 37 (I/1049/A-120) – Vápenné výkvěty





## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 82 Objekt LO vz.37 (9/1316/A-160)  
– vápenné výkvěty



Obr. 83 Nevhodné řešení střešní hydroizolace  
– nepová fólie



Obr. 84 a 85 Objekt LO vz.37 (9/1317/D1)



Obr. 86 a 87 Objekt LO vz.37 (1/1048/A-140) – vápenné výkvěty







## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 88 a 89 Objekt LO vz.37 (1/1047/C1)



Obr. 90 a 91 Objekt LO vz.37 (9/1318/A-140) – vápenné výkvěty



Obr. 92, 93, 94 Objekt LO vz.37 (1/1046/A-120)



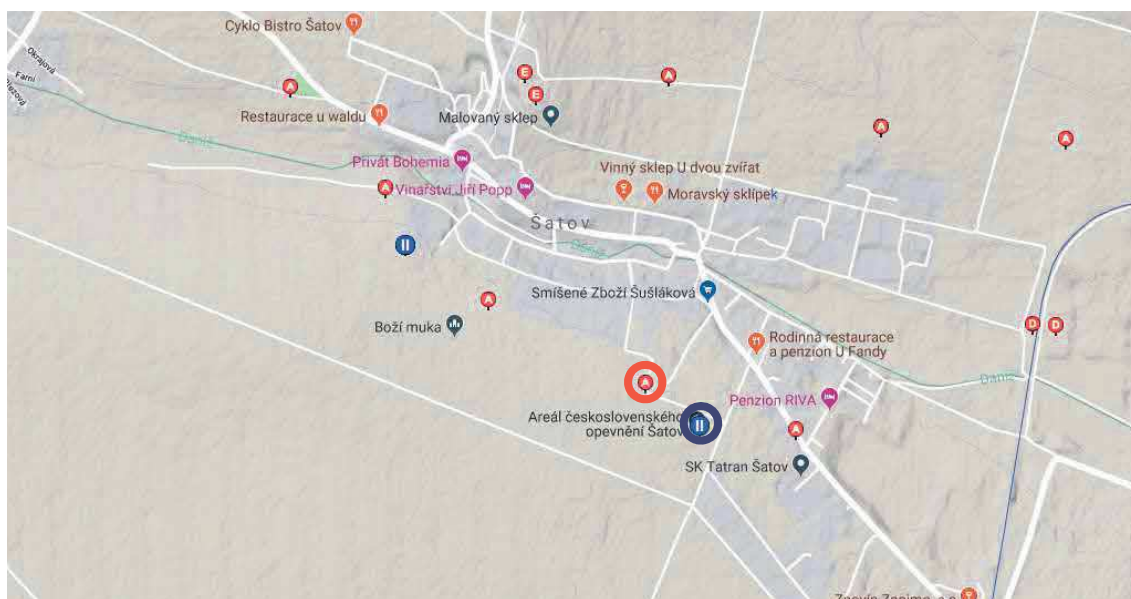
Obr. 95 Objekt LO vz.37 (9/1319/A-180) – zrekonstruován do stavu socialistické reaktivace. Bližší průzkum nebyl možný z důvodu oplocení objektu





### Šatov

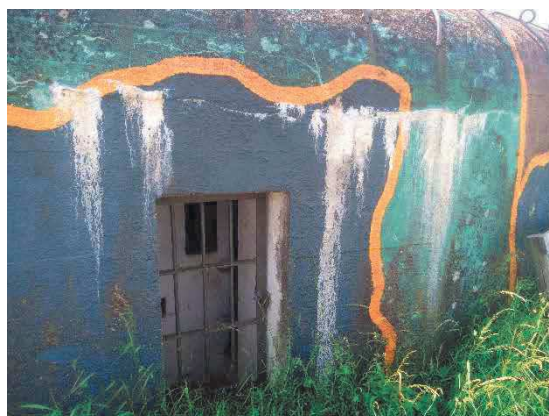
Na okraji obce Šatov se nachází kromě tří pěchotních srubů (objektů těžkého opevnění) také několik objektů lehkého opevnění. Při provádění terénního průzkumu bylo navštíveno LO typu A-160Z, nacházející se nedaleko zrekonstruovaného pěchotního srubu MJ-S 3 – „Zahrada“. Navštívené lehké opevnění bylo pravděpodobně rekonstruováno ve stejné době, jako pěchotní srub „Zahrada“ neboť je opatřen stejným maskovacím nátěrem a opětovné projevy poruch jsou stejně výrazné u obou staveb.



Obr. 98 Mapa objektů v okolí obce Slavonice (červeně – navštívený objekt, modře – pěchotní srub MJ-S 3 - Zahrada)



Obr. 96 Objekt LO vz.37 (7-I/2121/A-160Z)

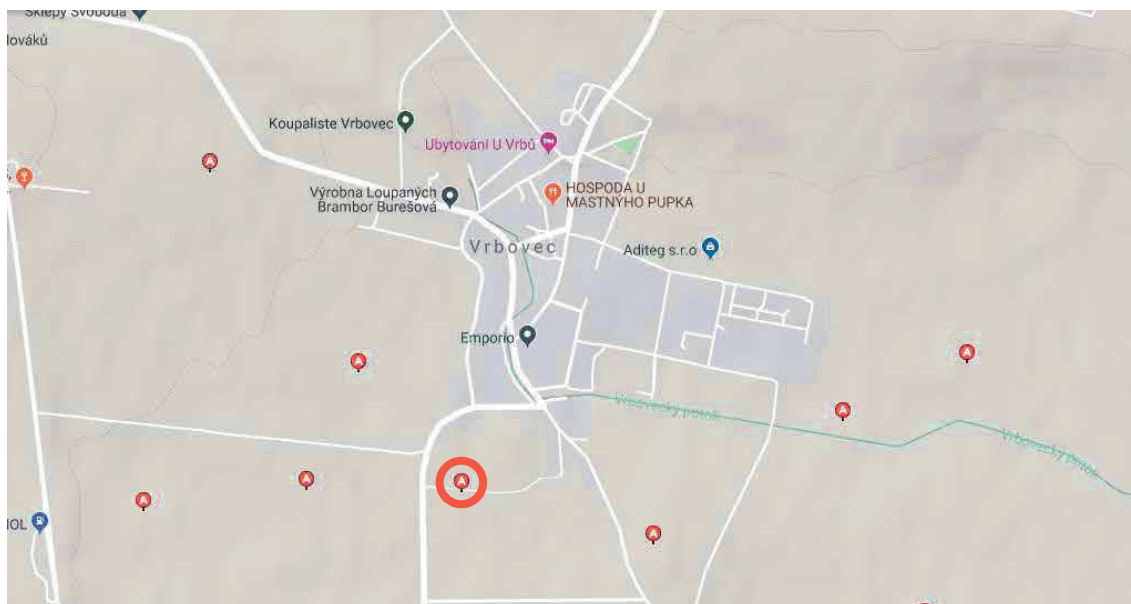


Obr. 97 Vápenné výkvěty



### Vrbovec

U obce Vrbovec stojí dochované lehké opevnění typu A-120 v zesílené odolnosti, jenž je ponecháno bez oprav a údržby. Také na tomto objektu jsou patrné poruchy, zejména vápenné výkvěty.



Obr. 101 Mapa objektů v okolí obce Vrbovec (červeně – navštívený objekt)



Obr. 100 Objekt LO vz. 37 (7-I/2152/A-120Z) - dochovaný



Obr. 99 Vápenné výkvěty na dochovaném objektu LO

### Novosedly

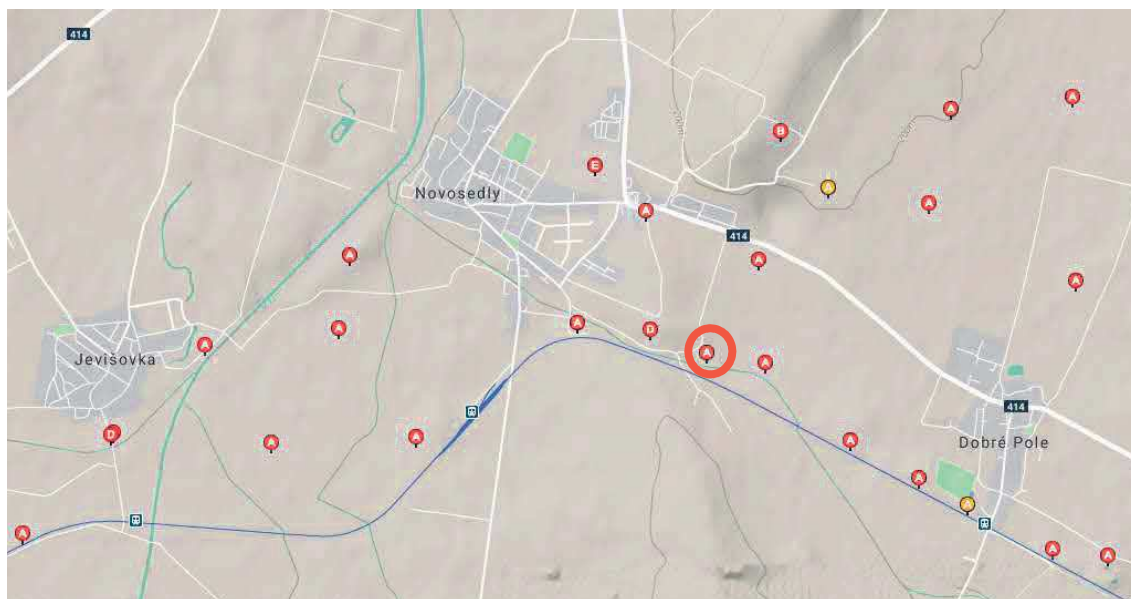
Během provádění terénního průzkumu byl navštíven také zrekonstruovaný objekt lehkého opevnění typu A-160 v zesílené odolnosti, který slouží jako Muzeum československého opevnění U Starého lomu. Jedná se o další objekt, který je spravován místním spolkem KVH, který se snaží o obnovu objektu včetně jeho vybavení. Stejně





## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

jako u předchozích staveb udržovaných spolky KVH jsou zde také patrné opětovné projevy vápenných výkvětů.



Obr. 102 Mapa objektů v okolí obce Novosedly (červeně – navštívený objekt)



Obr. 103 Objekt LO vz. 37 (10/3111/A-160Z)  
- po rekonstrukci



Obr. 104 Zpevněná plocha pod granátovým skluzem



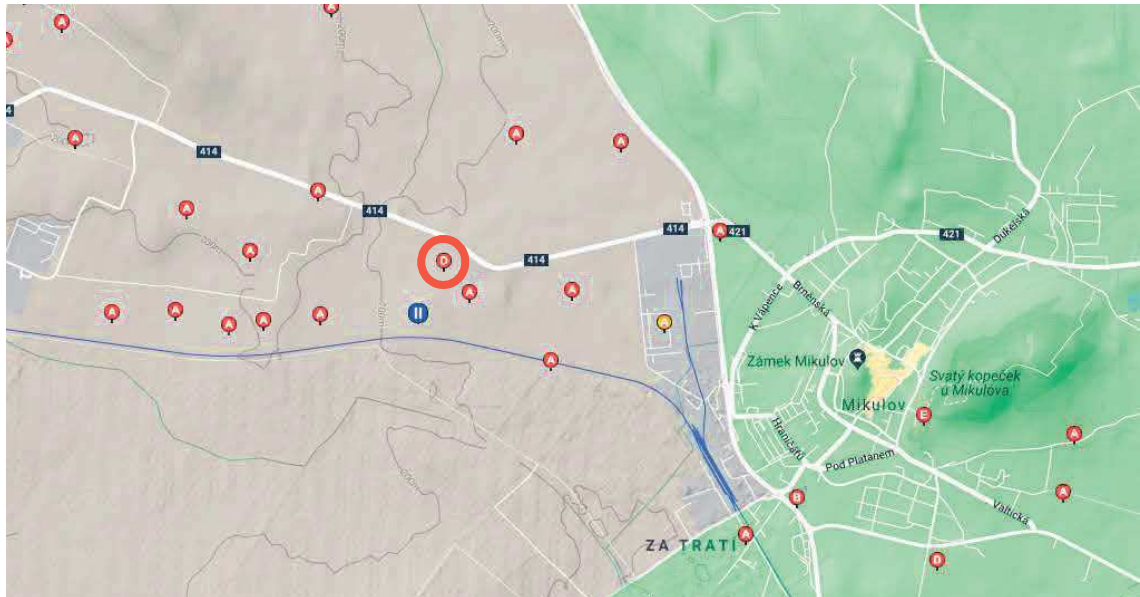
Obr. 105, 106, 107 Projevy poruch vzniklé po rekonstrukci – vápenné výkvěty, trhliny v omítce





Mikulov

Posledním objektem lehkého opevnění navštíveným během terénních průzkumů prováděných v rámci DP bylo opevnění typu D1, které se nachází nedaleko obce Mikulov, v blízkosti pěchotního srubu MJ-S 29 – „Svah“. Tento objekt je též dochován v původním stavu a ponechán bez oprav. Na opevnění jsou značně patrné nejen vápenné výluhy, ale také degradace vnější omítky.



Obr. 108 Mapa objektů v okolí obce Mikulov (červeně – navštívený objekt)



Obr. 109,110, 111 Dochovaný neudržovaný objekt LO vz. 37 (4/3077/D1) – poruchy omítky, vápenné výkvěty

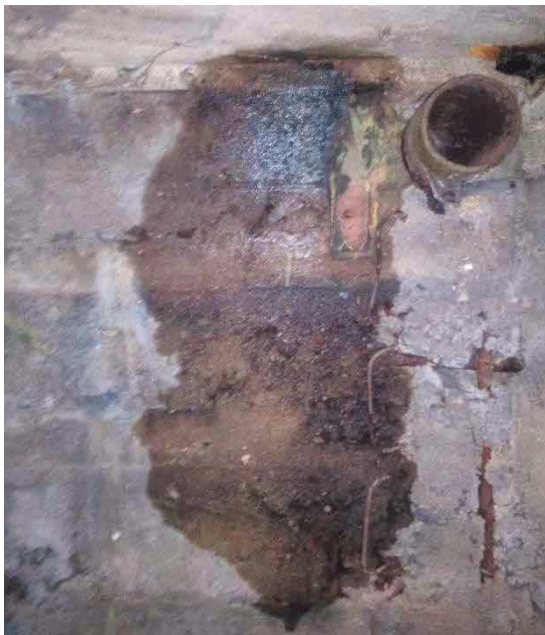


### **3.1 Poruchy objektů LO vz. 37**

V této kapitole bude uveden všeobecný přehled poruch objektů lehkého opevnění vz. 37 a jejich možných příčin. Objekty lehkého opevnění nejen na území bývalého Československa vykazují projevy poruch zejména vlivem působení vody v konstrukcích, dále pak chemickou degradací (tvorba vápenných výkvětů) a mechanickou degradací (destrukce částí objektu, ztráta adheze omítek, narušení krycí vrstvy výztuže).

#### **3.1.1 Vlhkost betonových konstrukcí**

Primárním problémem objektů lehkého opevnění je vlhkost betonových konstrukcí. Konstrukce jsou dotovány vodou zejména pomocí vztlínání. Dalším zdrojem vody v konstrukcích je srážková voda, která působí na konstrukce přímo (dopad na povrch konstrukcí) a nepřímě (akumulace vody v zemním valu). Vlhkosti betonových konstrukcí objektů LO vz. 37 se bude blíže věnovat kapitola 3.2.1.



*Obr. 112 a Obr. 113 Projevy působící vlhkosti na povrchu konstrukcí – zatékání*





### 3.1.2 Vápenné výkvěty

Nejrozšířenější poruchou objektů lehkého i těžkého opevnění je tvorba vápenných výkvětů. Vápenné výkvěty jsou tvořeny krystaly uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) vzniklými dlouhodobým vystavením hydroxidu vápenatého ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) vlhkému prostředí ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a působení oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Hydroxid vápenatý se uvolňuje při reakci, která vzniká po smíchání cementu a vody (tzv. hydrataci) při výrobě betonu. Krystalický hydroxid vápenatý (tzv. portlandit) je tedy nedílnou součástí každého ztvrdlého betonu.

Reakce vzniku vápenných výkvětů:



Vápenné výkvěty se často objevují i na objektech, které již prošli rekonstrukcí. Tvorba výkvětů se projevuje do cca 5 let od dokončení oprav objektů.



Obr. 114 Vápenný výkvět na objektu v původním stavu



Obr. 115 Vápenný výkvět na objektu po rekonstrukci





### **3.1.3 Ztráta přilnavosti (adheze) omítky k podkladu**

Další velice častou poruchou objektů LO vz. 37 je ztráta přilnavosti (adheze) krycí omítky k podkladu. Tato porucha je pravděpodobně způsobena rozdílnou teplotní roztažností betonu a samotné omítky. Cyklickým zatěžováním obou materiálů extrémními rozdíly teplot vznikají ve styku materiálů značná napětí, která styk namáhají. S napětím od teplotního namáhání je nutné počítat také u novodobých, nejen betonových konstrukcí. Vzhledem k podmínkám výstavby a účelu objektů (dočasné stavby) pravděpodobně nebylo toto namáhání zohledněno při návrhu nebo při samotné realizaci.

Projevy adheze zpočátku nemusí být patrné pouhým pohledem. Obyčejně nejprve dochází k lokálnímu oddělení omítky od podkladu. Toto oddělení je však odhalitelné poklepáním na omítku. Dalším cyklickým teplotním namáháním se ztráta adheze rozšiřuje, až se vlivem působícího pnutí začínají objevovat trhliny omítky na povrchu. Konečným stádiem projevu ztráty přilnavosti je úplné odpadnutí omítky z konstrukce. Jelikož se tyto poruchy projevují rovněž na některých objektech LO, které již prošly rekonstrukcí, je patrné, že ztráta adheze omítky je tématem, kterému je třeba se věnovat i v dnešní době.



*Obr. 116 a Obr. 117 Ztráta adheze omítky u objektu v původním stavu (vlevo) a po rekonstrukci (vpravo)*



### **3.1.4 Nedostatečná krycí vrstva výztuže**

Porucha krycí vrstvy výztuže je u objektů LO obecně způsobena několika vlivy. První příčinou obnažené výztuže je samotná technologie výstavby objektů. Vzhledem k tomu, že betonová směs byla hutněna ručně pomocí hutnicích pěchů, velmi často nedošlo k dokonalému zhutnění a vznikla tak místa na povrchu i uvnitř konstrukce (tzv. kaverny).

Další příčinou obnažení výztuže jsou mechanické vlivy. Mechanickými vlivy je myšleno například narušení krycí vrstvy nárazem kulek či působení vysokých teplot při požáru uvnitř objektu (výbuch ručního granátu uvnitř objektu, zapálení vnitřního dřevěného obložení atd.).

Příčinou ztráty krycí vrstvy výztuže může být také vysoká vlhkost betonových konstrukcí. Je-li ocelová výztuž vystavena působení vysoké vlhkosti a zároveň je-li v kontaktu se vzduchem vlivem pórů a vzduchových kapes, dochází k chemické korozi výztuže. Povrchová koroze výztuže snižuje spolupůsobení výztuže a betonu.



*Obr. 118 Obnažená výztuž vlivem hutnění*



*Obr. 119 Kompletní ztráta krycí vrstvy*



*Obr. 120 Obnažení výztuže – mechanické poškození*



*Obr. 121 Obnažená výztuž – mechanické poškození*



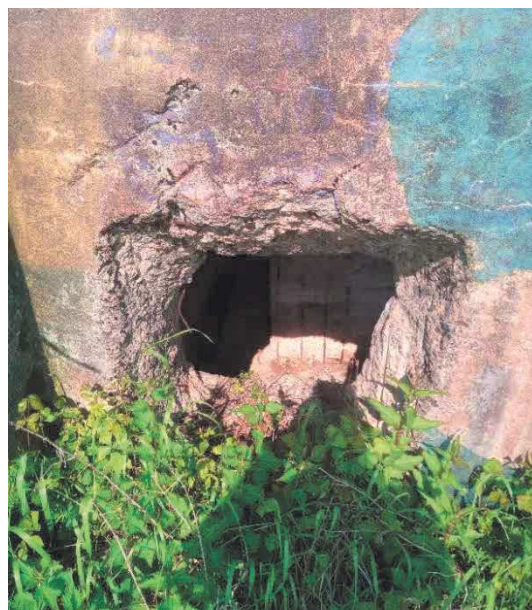


### **3.1.5 Destrukce částí konstrukcí LO**

Částečná destrukce objektů je velmi důležitou poruchou, které je třeba věnovat pozornost při vývoji komplexních sanačních postupů. Vzhledem k tomu, že se jedná o vojenské objekty sloužící k obraně, není mechanické poškození konstrukcí ojedinělou záležitostí. Tyto poruchy byly nejčastěji způsobeny pomocí střelné velkorážní munice či výbušnin.



*Obr. 122 Částečná destrukce tylové stěny*



*Obr. 123 Částečná destrukce boční stěny v oblasti střílny*



*Obr. 124 Částečná destrukce čelní stěny u vstupu*



*Obr. 125 Částečná destrukce obvodových stěn*

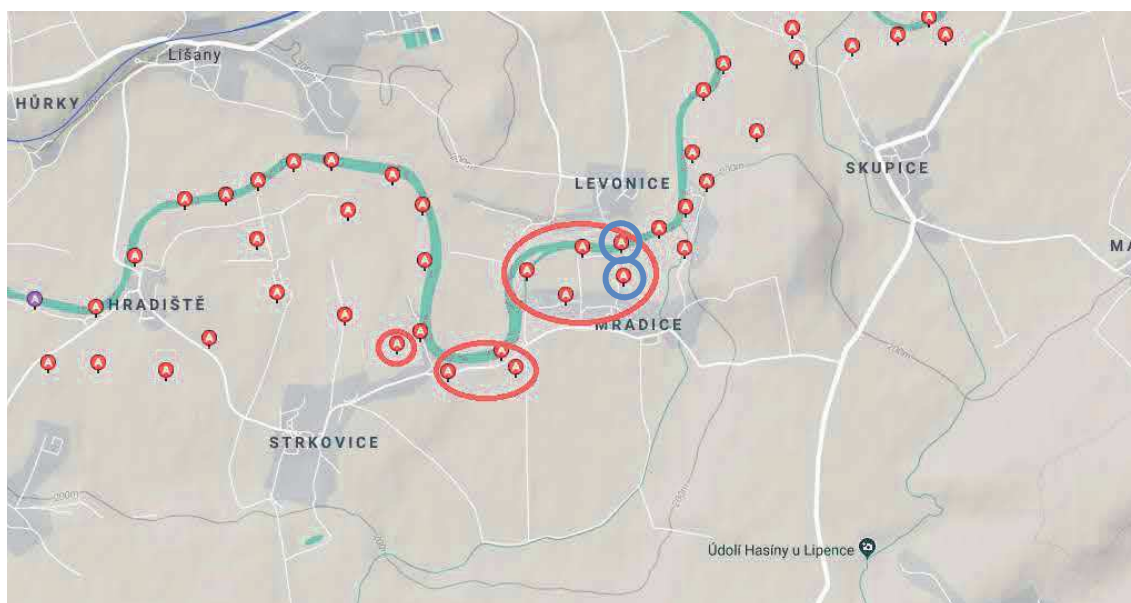




## 3.2 ANALÝZA BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

### 3.2.1 Vlhkost konstrukcí

V rámci DP bylo prováděno orientační měření vlhkosti in-situ v celkem devíti objektech lehkého opevnění vzor 37 („Řopíků“) nacházejících se podél břehu Ohře u obce Mradice v okrese Louny ve Středočeském kraji. Dva z těchto objektů byly zakoupeny Fakultou stavební, ČVUT v Praze pro účely výzkumného projektu NAKI II – DG18P02OVV063 s názvem „Vývoj progresivního sanačního postupu pro restaurování a konzervaci vojenských pevnostních objektů z 30. let 20. stol.“



Obr. 126 Červeně – označení měřených objektů u obce Mradice; modře – Fakulta stavební, ČVUT v Praze)  
(Zdroj: [2])

#### 3.2.1.A Měření vlhkosti in-situ

Místní měření vlhkosti (in-situ) bylo prováděno na devíti objektech lehkého opevnění vz. 37. V osmi objektech (včetně jednoho ve vlastnictví Fakulty stavební, ČVUT v Praze) bylo provedeno orientační měření pomocí kapacitního vlhkoměru Greisinger GMK 100. Druhý objekt, jehož vlastníkem je Fakulta stavební, ČVUT v Praze, byl využit k dlouhodobému měření pomocí odporového vlhkoměru Greisinger GMH 3810. Součástí dlouhodobého měření in-situ bylo měření okrajových podmínek v interiéru a v exteriéru. Okrajové podmínky byly měřeny pomocí měřících přístrojů Greisinger GFTH 95 (teplota a relativní vlhkost v interiéru/ v exteriéru) a Greisinger GMH 3300 (rychlost proudění vzduchu).



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 127 Kapacitní vlhkoměr Greisinger GMK 100



Obr. 128 Odporový vlhkoměr Greisinger GMH 3810



Obrázek 129 Měřič teploty a relativní vlhkosti vzduchu Greisinger GFTH 95

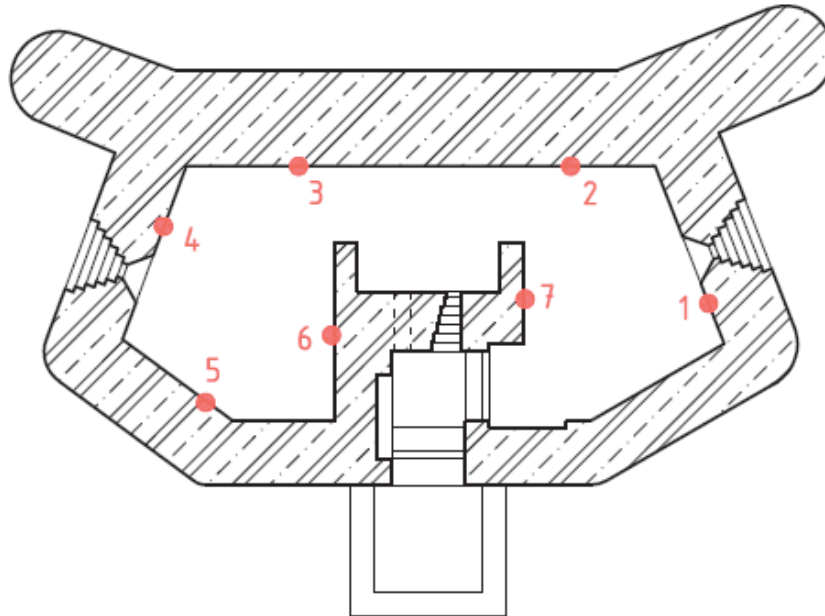


Obr. 130 Měřič rychlosti proudění vzduchu Greisinger GMH 3300



### 3.2.1.b Měření kapacitním vlhkoměrem

Měření vlhkosti svislých betonových konstrukcí bylo prováděno v každém objektu v celkem 7 vnitřních bodech (Obr. 131).



Obr. 131 Schéma bodů měření vlhkosti pomocí kapacitního vlhkoměru (autorská tvorba)

Vzhledem k nerovnoměrným povrchům svislých konstrukcí (nerovnosti vlivem zrnitosti krycí vrstvy, strukturou vnitřního bednění nebo nedostatečného probetonování), byla možnost měření vlhkosti kapacitním vlhkoměrem značně omezená. Dalším faktorem, který značně ovlivňoval výsledky měření bylo rozmístění ocelové výztuže v měřených konstrukcích. Pro měření kapacitním vlhkoměrem byla vybrána místa, na kterých byl povrch co nejrovnější a současně na těchto místech nebyla umístěna svislá ani vodorovná výztuž pod povrchem konstrukcí. Přítomnost výztuže v měřeném místě snižovala naměřené hodnoty vlhkosti až o 3 %. V každém měřeném bodě byla provedena celkem 4 výšková měření a sice ve výškách cca 0,1 – 0,2 m, 0,5 – 0,7 m, 0,9 – 1,1 m a 1,8 – 2,0 m nad úroveň podlahy.





Obr. 132 LO vz. 37: C-27/52a/A-140Z

Tab. 4 Naměřené hodnoty vlhkosti v objektu C-27/56a/A-140Z

Označení pevnosti	Operativní teplota v interiéru (°C)	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru (%)	Číslo bodu	Výška měření od podlahy (m)				Poznámky
				0,1 - 0,2	0,5 - 0,7	0,9 - 1,1	1,8 - 2,0	
C-27/52a/A-140Z	20,1	74,75	1	5,2	5,3	5,5	4,4	Zvýšený terén k úrovni střílen
			2	4,1	5,1	5,9	4,8	
			3	6,2	6,5	5,2	6,3	
			4	5,0	5,6	7,0	3,8	
			5	6,4	4,6	6,2	4,4	
			6	4,1	3,7	6,3	5,5	
			7	5,5	3,6	5,2	4,1	





Obr. 133 LO vz. 37: C-27/54/A-200

Tab. 5 Naměřené hodnoty vlhkosti v objektu C-27/54/A-200

Označení pevnosti	Operativní teplota v interiéru (°C)	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru (%)	Číslo bodu	Výška měření od podlahy (m)				Poznámky
				0,1 - 0,2	0,5 - 0,7	0,9 - 1,1	1,8 - 2,0	
C-27/54/A-200	20,5	81,6	1	4,8	5,8	6,2	5,0 - 6,9	Objekt u řeky; zarostlý zelení; zatékání v bodě č.1 a č.5
			2	6,3	6,4	3,8	5,3	
			3	6,5	5,1	5,6	6,1	
			4	Neměřeno				
			5	5,0	6,3	5,1	6,4	
			6	5,2	4,8	4,7	5,8	
			7	3,5	3,6	4,1	6,3	



Obrázek 134 LO vz.37: C-27/56a/A-140

Tab. 6 Naměřené hodnoty vlhkosti v objektu C-27/56a/A-140

Označení pevnosti	Operativní teplota v interiéru (°C)	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru (%)	Číslo bodu	Výška měření od podlahy (m)				Poznámky
				0,1 - 0,2	0,5 - 0,7	0,9 - 1,1	1,8 - 2,0	
C-27/56a/A-140	19,6	83,5	1	4,6	4,8	4,7	4,5	Body 1, 5 - zjištěno zatékání při dešti;
			2	4,5	6,4	4,5	5,6	
			3	4,6	5,3	4,8	5,7	
			4	4,8	6,0	5,0	6,3	
			5	4,8	6,4	6,7	6,8	
			6	3,8	3,3	4,2	3,3	
			7	4,2	3,9	2,4	3,8	

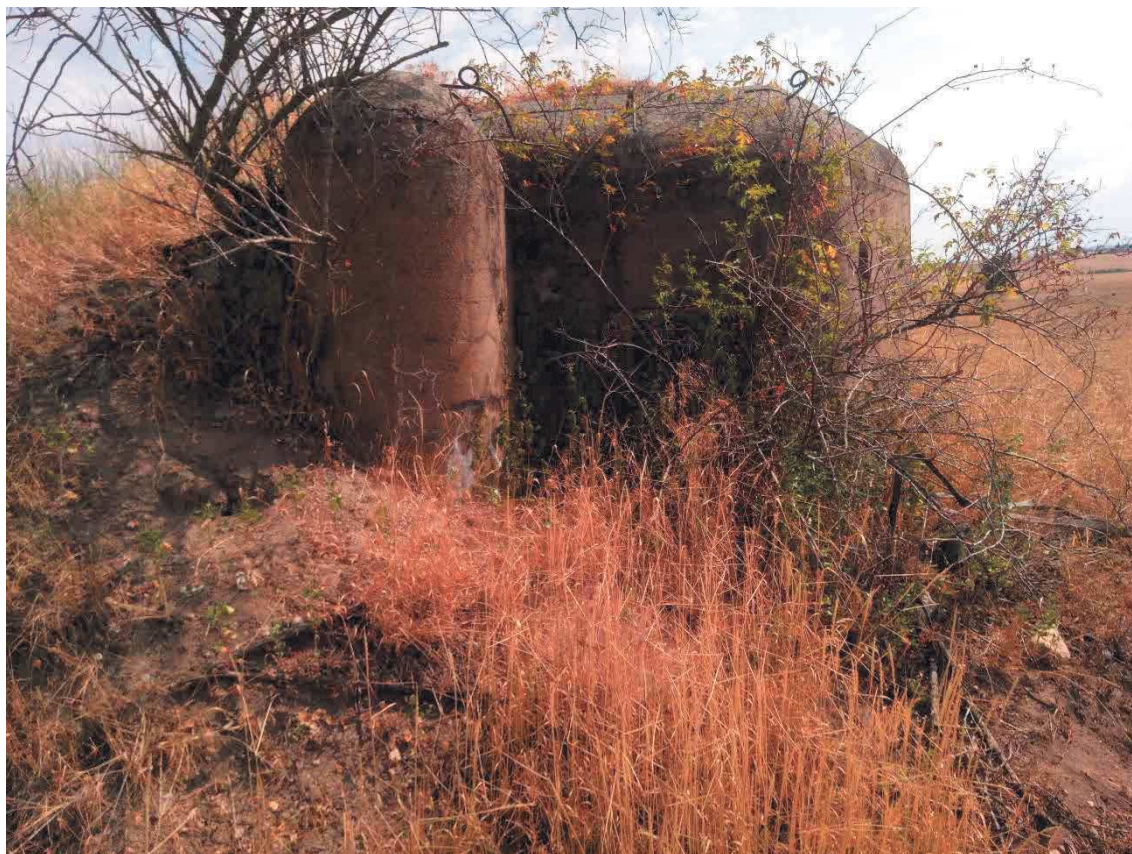




Obr. 135 LO vz. 37: C-27/57/A-180

Tab. 7 Naměřené hodnoty vlhkosti v objektu C-27/57/A-180

Označení pevnosti	Operativní teplota v interiéru (°C)	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru (%)	Číslo bodu	Výška měření od podlahy (m)				Poznámky
				0,1 - 0,2	0,5 - 0,7	0,9 - 1,1	1,8 - 2,0	
C-27/57/A-180	20,4	79,9	1	5,6	3,1	5,6	3,9	Body 1,2 - Vápenný nátěr; Bod 5 - Vlhký povrch; Body 6, 7 - Necelistvý povrch
			2	6,3	6,0	4,7	5,1	
			3	4,2	3,4	4,5	4,1	
			4	4,8	5,0	3,6	4,4	
			5	4,9	4,3	5,7 - 6,3	5,5	
			6	3,7	3,2	3,0	2,4	
			7	3,5	3,4	3,5	4,6	



Obr. 136 LO vz.37: C-27/66/A-120

Tab. 8 Naměřené hodnoty vlhkosti v objektu C-27/66/A-120

Označení pevnosti	Operativní teplota v interiéru (°C)	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru (%)	Číslo bodu	Výška měření od podlahy (m)				Poznámky
				0,1 - 0,2	0,5 - 0,7	0,9 - 1,1	1,8 - 2,0	
C27/66/A-120	19,6	83,5	1	5,4	5,1	3,6	5,0	V bodě č. 5 zjištěno zatékání při dešti
			2	6,3	5,4	3,3	2,5	
			3	4,6	4,0	4,6	2,6	
			4	5,1	5,4	3,7	3,9	
			5	5,1	4,2	4,4	6,0 - 6,8	
			6	5,1	4,9	5,8	5,3	
			7	3,6	4,1	3,9	6,3	





Obr. 137 LO vz. 37: C-27/55/A-120Z

Tab. 9 Naměřené hodnoty vlhkosti v objektu C-27/55/A-120Z

Označení pevnosti	Operativní teplota v interiéru (°C)	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru (%)	Číslo bodu	Výška měření od podlahy (m)				Poznámky
				0,1 - 0,2	0,5 - 0,7	0,9 - 1,1	1,8 - 2,0	
C-27/55/A-120Z	21,4	79,9	1	3,4 - 5,7	3,5	3,9	4,9	Bod 1 - Mokrý povrch
			2	4,8	5,3	4,3	4,3	
			3	5,5	4,2	4,7	4,7	
			4	3,9	4,6	5,3	4,5	
			5	4,0	4,9	4,2	3,5	
			6	4,1	3,3	4,2	4,5	
			7	3,6	3,3	3,6	5,3	



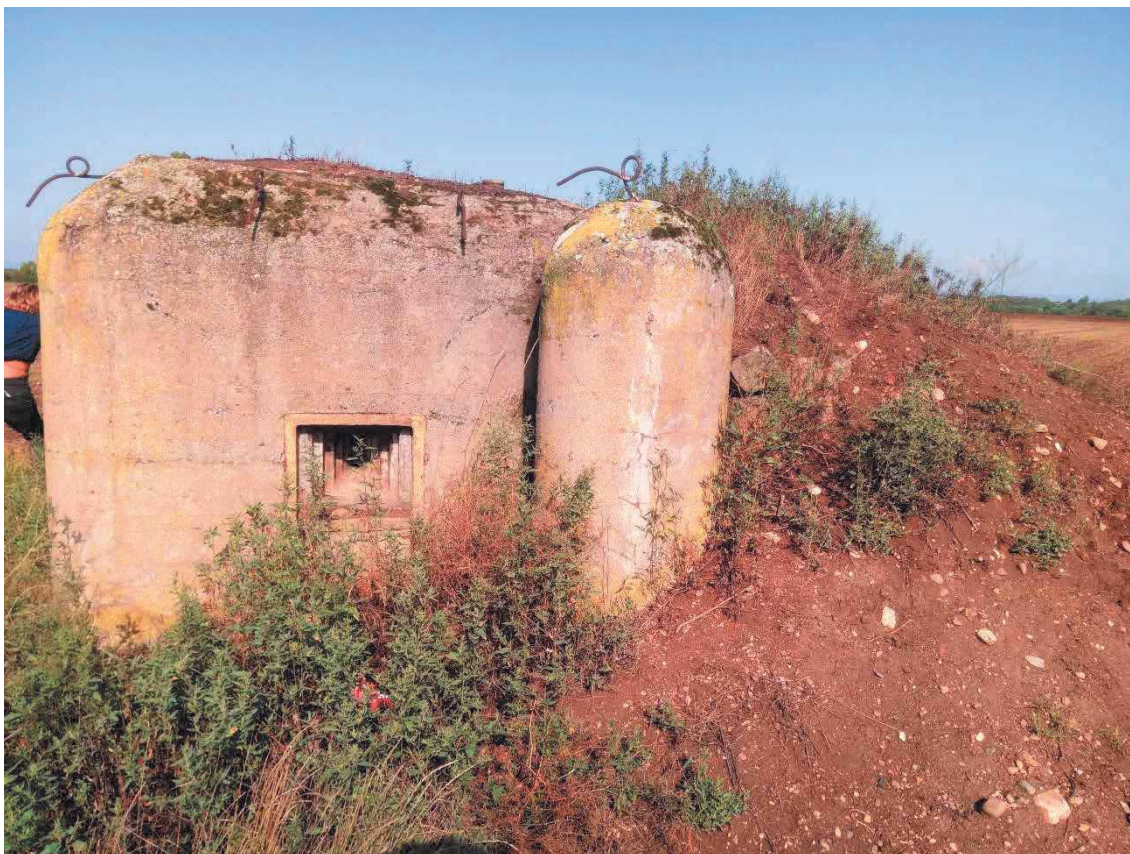


Obr. 138 LO vz.37: C-27/67/A-140

Tab. 10 Naměřené hodnoty vlhkosti v objektu C-27/67/A-140

Označení pevnosti	Operativní teplota v interiéru (°C)	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru (%)	Číslo bodu	Výška měření od podlahy (m)				Poznámky
				0,1 - 0,2	0,5 - 0,7	0,9 - 1,1	1,8 - 2,0	
C-27/67/A-140	21,9	75,1	1	3,5	3,9	2,6	2,6	Objekt umístěn v poli; celoplošný vápenný nátěr interiérových stěn
			2	3,2	3,2	4,1	5,4	
			3	4,1	4,2	3,6	5,0	
			4	3,0	2,6	4,9	4,0	
			5	3,9	3,6	3,1	4,2	
			6	4,0	4,2	3,5	4,8	
			7	3,3	3,5	3,9	4,6	





Obr. 139 LO vz. 37: C-27/67a/A-160

Tab. 11 Naměřené hodnoty vlhkosti v objektu C-27/67a/A-160

Označení pevnosti	Operativní teplota v interiéru (°C)	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru (%)	Číslo bodu	Výška měření od podlahy (m)				Poznámky
				0,1 - 0,2	0,5 - 0,7	0,9 - 1,1	1,8 - 2,0	
C-27/67a/A-160	25,8	59,7	1	4,9	4,7	5,1	5,5	Objekt umístěn v poli; celoplošný vápenný nátěr
			2	4,5	4,5	5,4	4,8	
			3	5,2	6,7	6,3	6,3	
			4	4,5	3,9	5,2	4,8	
			5	5,5	5,2	6,2	4,3	
			6	6,4	4,9	4,6	3,8	
			7	6,7	6,7	6,0	6,6	



Vzhledem k tomu, že se jedná o velice specifické objekty, jak z hlediska návrhu, tak z hlediska technologie výstavby, nebylo možné provést přesné zařazení dle klasifikace vlhkosti materiálu. Hodnoty vlhkosti naměřené kapacitním vlhkoměrem byly orientačně zařazeny dle Tab. 1 Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN 73 0610. Autor této DP si uvědomuje, že toto zařazení je značně zkrácené, neboť se jedná o porovnání monolitických konstrukcí s konstrukcemi skládajícími se z malty a zdících prvků, což je z hlediska struktury materiálu naprosto odlišná záležitost. Vzhledem k tomu, že v dostupných normách pro sanace vlhkých konstrukcí (např. ČSN 73 0610) není uváděna tabulka pro klasifikaci vlhkosti betonových konstrukcí, je to jediná možnost, jak alespoň orientačně klasifikovat vlhkost konstrukcí měřených kapacitním vlhkoměrem.

Tab. 12 Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 [5]

Tabulka klasifikace vlhkosti zdiva	
$w < 3\%$	Velmi nízká
$3\% < w < 5\%$	Nízká
$5\% < w < 7,5\%$	Zvýšená
$7,5\% < w < 10\%$	Vysoká
$w > 10\%$	Velmi vysoká

Orientační zařazení hodnot naměřených kapacitním vlhkoměrem potvrdilo, že betonové konstrukce pevností vz. 37 jsou vystaveny působení značné vlhkosti. Vzhledem k nepřesnosti měření příložného kapacitního vlhkoměru, jehož přesnost je udávána  $\pm 2\%$  a dále z důvodu, že nebylo možné spoléhat na rovnost povrchu svislých konstrukcí, bylo potřeba naměřené hodnoty porovnat s přesnější měřicí metodou – měření odporovým vlhkoměrem.

### 3.2.1.c Měření odporovým vlhkoměrem

Objekt lehkého opevnění C-27/56a/A-140, který se nachází uprostřed chmelnice, byl vybrán pro provádění dlouhodobého měření pomocí odporového vlhkoměru s kartáčovými sondami, neboť v něm byly patrnější projevy působení vlhkosti (vlhkostní mapy na stěnách, vlhké zbytky výdřevy v patě stěn, atd.). Dalším kritériem výběru pro přesnější měření byla skutečnost, že se jedná o objekt v normální odolnosti. Vzhledem k tomu, že objektů v této odolnosti je na našem území podstatně více než objektů





## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

v zesílené odolnosti, mají výsledky získané měřeními na tomto objektu širší význam, než kdyby byly měřeny na objektech se zesílenou odolností.

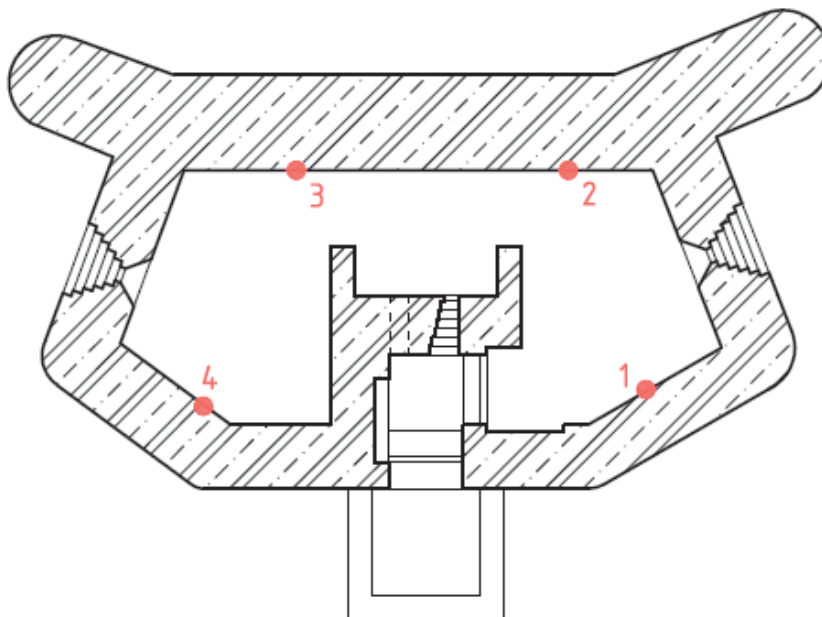


*Obr. 140 Vrtání otvorů pro kartáčové sondy*



*Obr. 141 Objekt určený k měření odporovým vlhkoměrem*

Pro měření odporovým vlhkoměrem bylo nutné nejprve v interiéru objektu zhotovit vrty, do kterých by bylo možné vsunout kartáčové sondy. Pro provedení vrtů byla vybrána 4 místa v půdorysu objektu (Obrázek 142). V každém místě byly provedeny vrty ve 3 výškových úrovních. Vrty byly provedeny ve výšce 0,1 m, 0,7 m a 1,3 m nad úrovní podlahy, aby bylo možné vytvořit vlhkostní profil konstrukce v měřeném místě. Pro měření vlhkosti v jednom bodě pomocí kartáčových sond je nutné vždy vrtat otvory po dvojicích. Dle technologického postupu byly vrty prováděny o průměru 8 mm, délce cca 300 mm a v roztečích 80–100 mm.



Obrázek 142 Schéma umístění vlhkostních profilů měřených pomocí odporového vlhkoměru (autorská tvorba)

Odporové měření vlhkosti konstrukcí bylo prováděno přibližně v týdenních intervalech, aby bylo možné sledovat vlhkostní chování svislých konstrukcí v čase. Vzhledem k tomu, že vrtání sond bylo prováděno dne 24.10.2019, byl interval měření pro účely této DP značně omezen. Z tohoto důvodu jsou zde použity pouze hodnoty naměřené v intervalu od 24.10. do 21.12. 2019. V rámci projektu NAKI II bude měření vlhkosti pokračovat, aby bylo zachyceno chování konstrukcí v průběhu všech ročních období.



Obr. 143 Měření vlhkosti in-situ



Obr. 144 Odporový vlhkoměr Greisinger GMH 3810



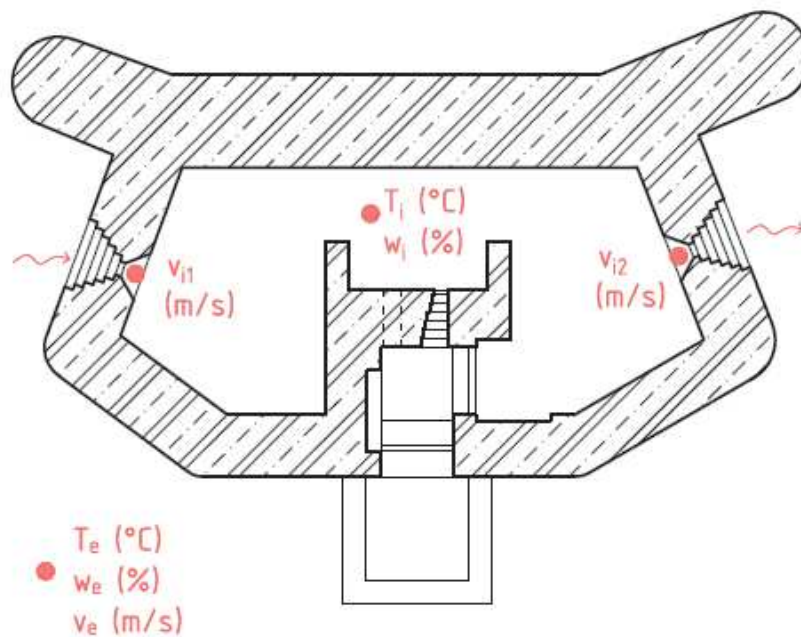
## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průřez a možnosti sanace

V rámci měření bylo nutné zaznamenávat také tyto okrajové podmínky při provádění měření, které mají vliv na vlhkostní chování konstrukcí.

Byly zaznamenávány tyto okrajové podmínky:

- Teplota exteriéru –  $T_e$  (°C)
- Relativní vlhkost v exteriéru –  $w_e$  (%)
- Rychlost proudění vzduchu v exteriéru –  $v_e$  (m/s)
- Teplota interiéru –  $T_i$  (°C)
- Relativní vlhkost v interiéru –  $w_i$  (%)
- Rychlost proudění vzduchu v interiéru –  $v_{i1}$ ,  $v_{i2}$  (m/s)

Kde veličiny  $v_{i1}$  a  $v_{i2}$  jsou rychlost proudění vzduchu v interiéru v místě střílen (Obr. 145)



Obr. 145 Okrajové podmínky měření





Obr. 146 a 26 Měření rychlosti proudění vzduchu v exteriéru ( $v_e$ ) a v interiéru ( $v_{i1,2}$ )

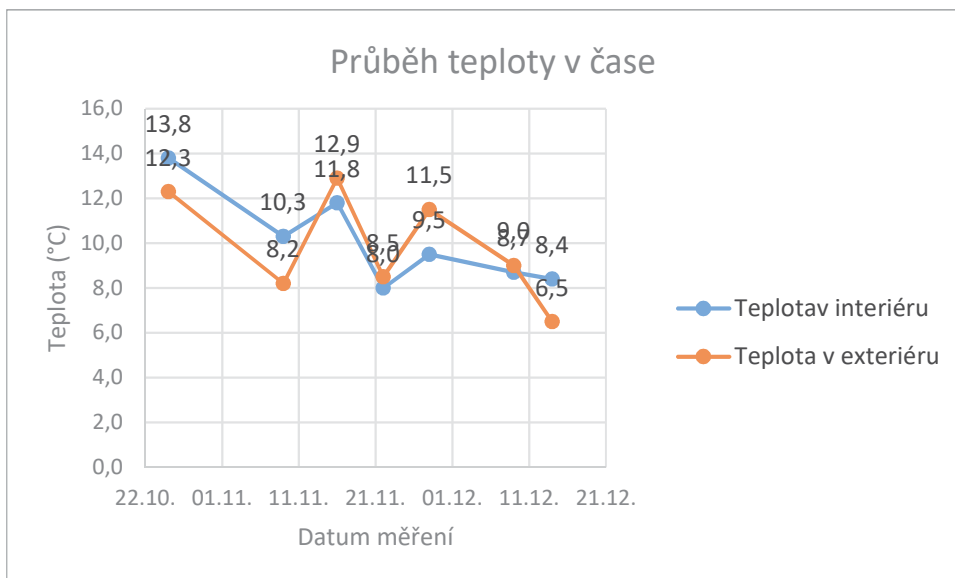
Naměřené okrajové podmínky byly zaneseny do tabulky a následně byly vytvořeny lineární grafy zobrazující změny okrajových podmínek při jednotlivých měřeních. Grafy byly vytvořeny pro jednotlivé veličiny. Graf 1 zobrazuje průběh teplot ( $T_i$ ,  $T_e$ ), graf 2 popisuje průběh relativních vlhkostí vzduchu ( $w_i$ ,  $w_e$ ) a graf 3 znázorňuje změny rychlostí proudění vzduchu ( $v_e$ ,  $v_{i1}$ ,  $v_{i2}$ ).

Tab. 13 Okrajové podmínky měření

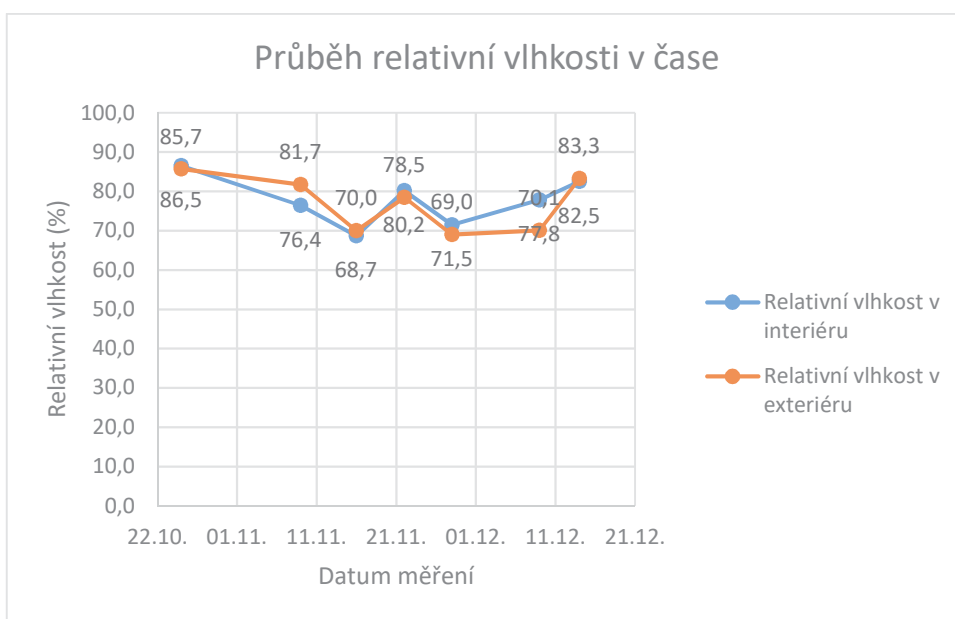
Okrajové podmínky měření							
Datum měření	Teplota v interiéru	Relativní vlhkost v interiéru	Teplota v exteriéru	Relativní vlhkost v exteriéru	Rychlost proudění (m/s)		
	$T_i$ (°C)	$w_i$ (%)	$T_e$ (°C)	$w_e$ (%)	Exteriér	Střílna 1	Střílna 2
					$v_e$	$v_{i1}$	$v_{i2}$
25.10.2019	13,8	86,5	12,3	85,7	1,30	1,35	0,70
09.11.2019	10,3	76,4	8,2	81,7	1,40 - 1,50	1,40	0,50
16.11.2019	11,8	68,7	12,9	70,0	1,80	1,80	1,00
22.11.2019	8,0	80,2	8,5	78,5	1,40	1,20	0,60
28.11.2019	9,5	71,5	11,5	69,0	3,0 - 4,5	2,50	1,20
09.12.2019	8,7	77,8	9,0	70,1	2,5 - 3,0	1,75	0,85
14.12.2019	8,4	82,5	6,5	83,3	4,0	2,85	1,45



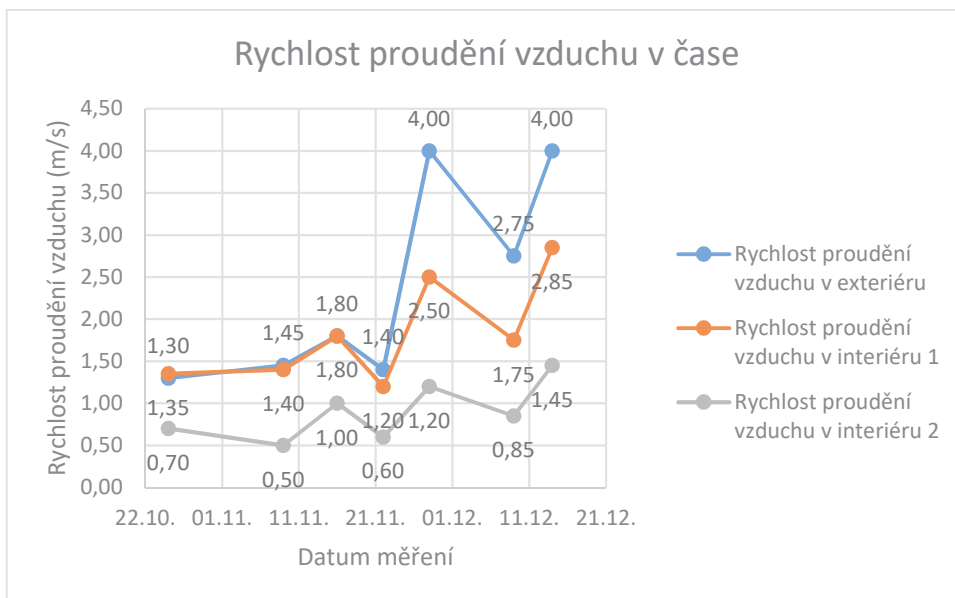
## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 147 Okrajové podmínky měření vlhkosti – teplota (°C)



Obr. 148 Okrajové podmínky měření vlhkosti – relativní vlhkost (%)



Obr. 149 Okrajové podmínky měření vlhkosti – rychlost proudění vzduchu (m/s)

Tab. 14 Výsledky měření odporovým vlhkoměrem - 25.10.2019

Datum měření	OZN.	Výška (m)	Vlhkost betonových konstrukcí (%)		
			Greisinger GMH 3810 (B6)	Korekční součinitel K (-)	Ekvivalentní vlhkost betonu
25.10.2019	1	0,1	-	1,557	-
		0,7	3,1		4,8
		1,3	-		-
	2	0,1	2,6		4,0
		0,7	2,3		3,6
		1,3	2,9		4,5
	3	0,1	3,0		4,7
		0,7	-		-
		1,3	-		-
	4	0,1	3,6		5,6
		0,7	3,1		4,8
		1,3	3,3		5,1





## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

Tab. 15 Výsledky měření odporovým vlhkoměrem - 9.11.2019

Datum měření	OZN.	Výška (m)	Vlhkost betonových konstrukcí (%)		
			Greisinger GMH 3810 (B6)	Korekční součinitel K (-)	Ekvivalentní vlhkost betonu
09.11.2019	1	0,1	3,1	1,557	4,8
		0,7	2,6		4,0
		1,3	2,4		3,7
	2	0,1	1,8		2,8
		0,7	1,7		2,6
		1,3	2,1		3,3
	3	0,1	2,8		4,4
		0,7	2,4		3,7
		1,3	2,0		3,1
	4	0,1	3,3		5,1
		0,7	2,9		4,5
		1,3	3,0		4,7

Tab. 16 Výsledky měření odporovým vlhkoměrem - 16.11.2019

Datum měření	OZN.	Výška (m)	Vlhkost betonových konstrukcí (%)		
			Greisinger GMH 3810 (B6)	Korekční součinitel K (-)	Ekvivalentní vlhkost betonu
16.11.2019	1	0,1	2,9	1,557	4,5
		0,7	2,4		3,7
		1,3	2,2		3,4
	2	0,1	1,6		2,5
		0,7	2,1		3,3
		1,3	1,8		2,8
	3	0,1	2,6		4,0
		0,7	2,6		4,0
		1,3	2,2		3,4
	4	0,1	3,0		4,7
		0,7	2,7		4,2
		1,3	2,9		4,5



**Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace**

Tab. 17 Výsledky měření odporovým vlhkoměrem – 22.11.2019

Datum měření	OZN.	Výška (m)	Vlhkost betonových konstrukcí (%)		
			Greisinger GMH 3810 (B6)	Korekční součinitel K (-)	Ekvivalentní vlhkost betonu
22.11.2019	1	0,1	2,9	1,557	4,5
		0,7	2,8		4,4
		1,3	2,5		3,9
	2	0,1	1,4		2,2
		0,7	1,7		2,6
		1,3	1,8		2,8
	3	0,1	2,7		4,2
		0,7	2,5		3,9
		1,3	2,2		3,4
	4	0,1	2,9		4,5
		0,7	2,3		3,6
		1,3	2,9		4,5

Tab. 18 Výsledky měření odporovým vlhkoměrem – 28.11.2019

Datum měření	OZN.	Výška (m)	Vlhkost betonových konstrukcí (%)		
			Greisinger GMH 3810 (B6)	Korekční součinitel K (-)	Ekvivalentní vlhkost betonu
28.11.2019	1	0,1	2,5	1,557	3,9
		0,7	2,5		3,9
		1,3	2,2		3,4
	2	0,1	1,4		2,2
		0,7	1,3		2,0
		1,3	1,6		2,5
	3	0,1	2,8		4,4
		0,7	2,6		4,0
		1,3	1,9		3,0
	4	0,1	2,7		4,2
		0,7	2,4		3,7
		1,3	2,7		4,2



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

Tab. 19 Výsledky měření odporovým vlhkoměrem – 9.12.2019

Datum měření	OZN.	Výška (m)	Vlhkost betonových konstrukcí (%)		
			Greisinger GMH 3810 (B6)	Korekční součinitel	Ekvivalentní vlhkost betonu
09.12.2019	1	0,1	2,6	1,557	4,0
		0,7	2,4		3,7
		1,3	2,0		3,1
	2	0,1	1,3		2,0
		0,7	1,3		2,0
		1,3	1,7		2,6
	3	0,1	2,7		4,2
		0,7	2,3		3,6
		1,3	2,1		3,3
	4	0,1	2,6		4,0
		0,7	2,0		3,1
		1,3	2,6		4,0

Tab. 20 Výsledky měření odporovým vlhkoměrem – 14.12.2019

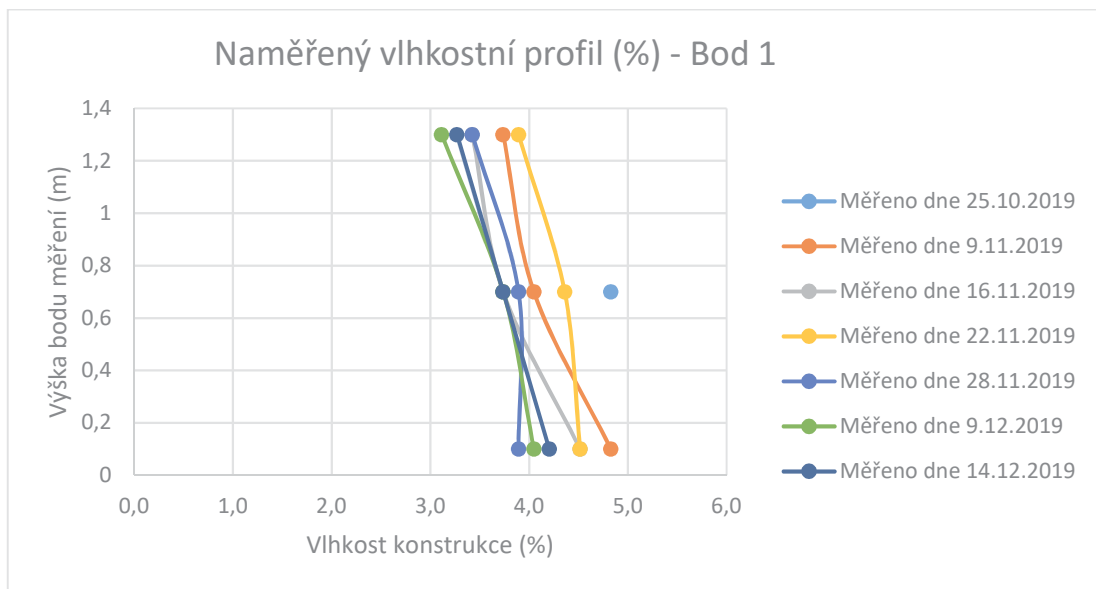
Datum měření	OZN.	Výška (m)	Vlhkost betonových konstrukcí (%)		
			Greisinger GMH 3810 (B6)	Korekční součinitel	Ekvivalentní vlhkost betonu
14.12.2019	1	0,1	2,7	1,557	4,2
		0,7	2,4		3,7
		1,3	2,1		3,3
	2	0,1	1,5		2,3
		0,7	1,3		2,0
		1,3	1,7		2,6
	3	0,1	2,7		4,2
		0,7	2,2		3,4
		1,3	2,0		3,1
	4	0,1	2,7		4,2
		0,7	2,0		3,1
		1,3	2,7		4,2



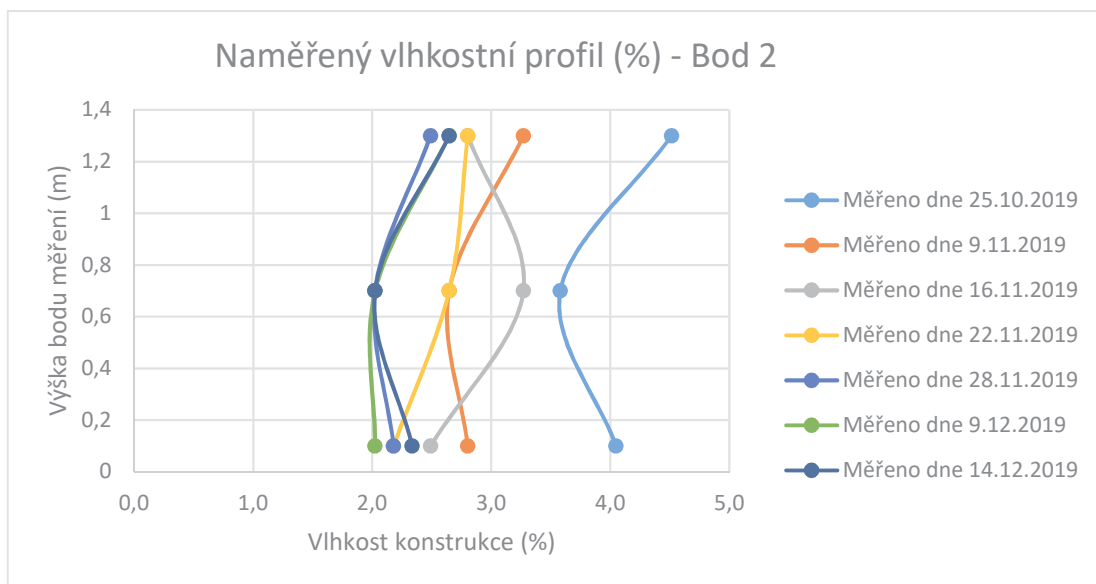


## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

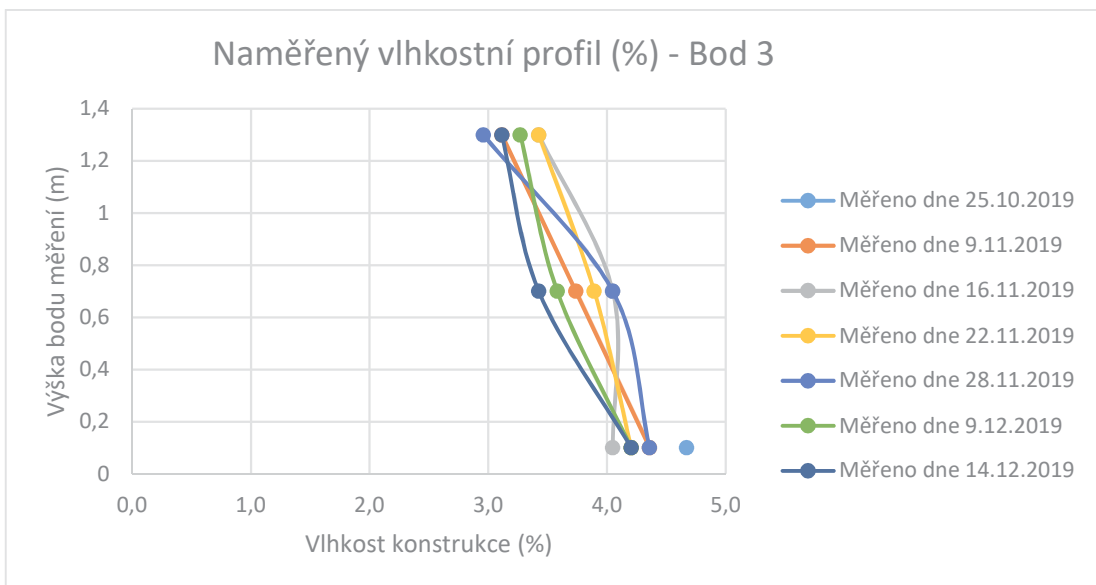
Pro zpřehlednění naměřených dat z výše uvedených tabulek byly vytvořeny grafy popisující změny vlhkosti ve výškových profilech jednotlivých bodů 1–4. V grafech jsou uvedeny naměřené hodnoty vlhkosti ve výškách 0,1, 0,7 a 1,3 m nad podlahou. Tyto hodnoty jsou proloženy křivkou pro přibližné znázornění vlhkového chování konstrukcí.



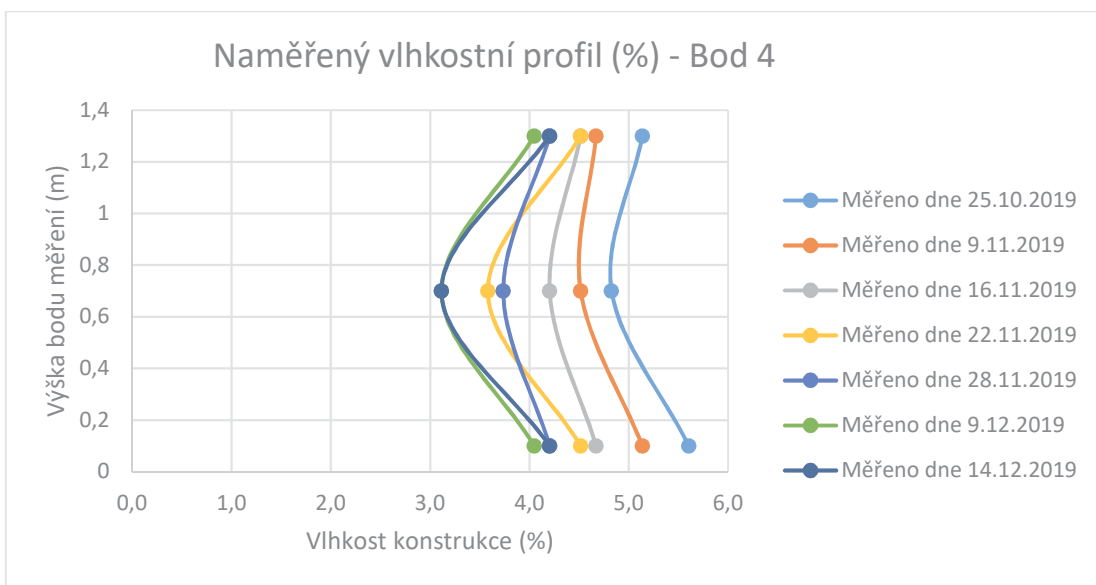
Obr. 150 Vlhkovostní křivky dlouhodobého měření vlhkovostního profilu č.1



Obr. 151 Vlhkovostní křivky dlouhodobého měření vlhkovostního profilu č.2



*Obr. 152 Vlhkostní křivky dlouhodobého měření vlhkostního profilu č.3*

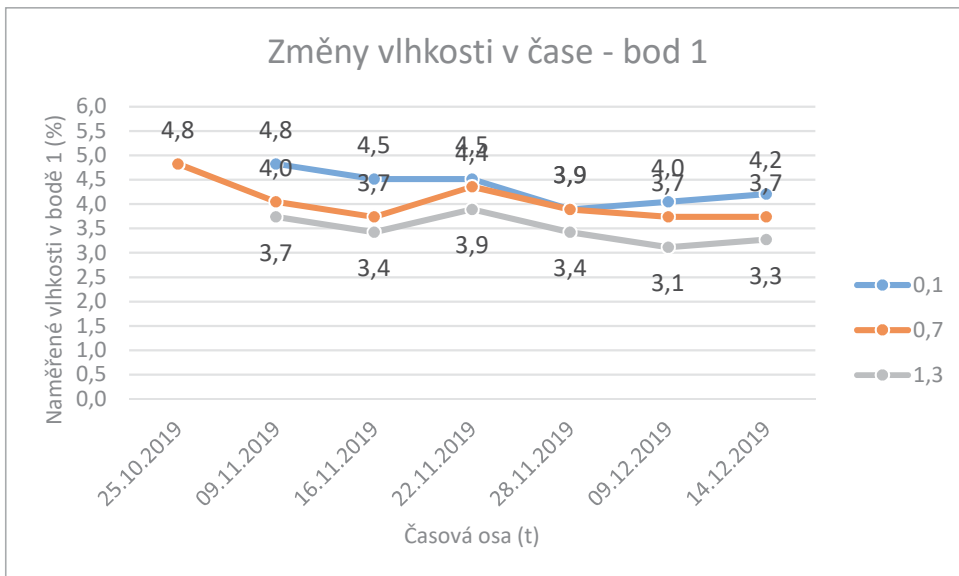


*Obr. 153 Vlhkostní křivky dlouhodobého měření vlhkostního profilu č.4*

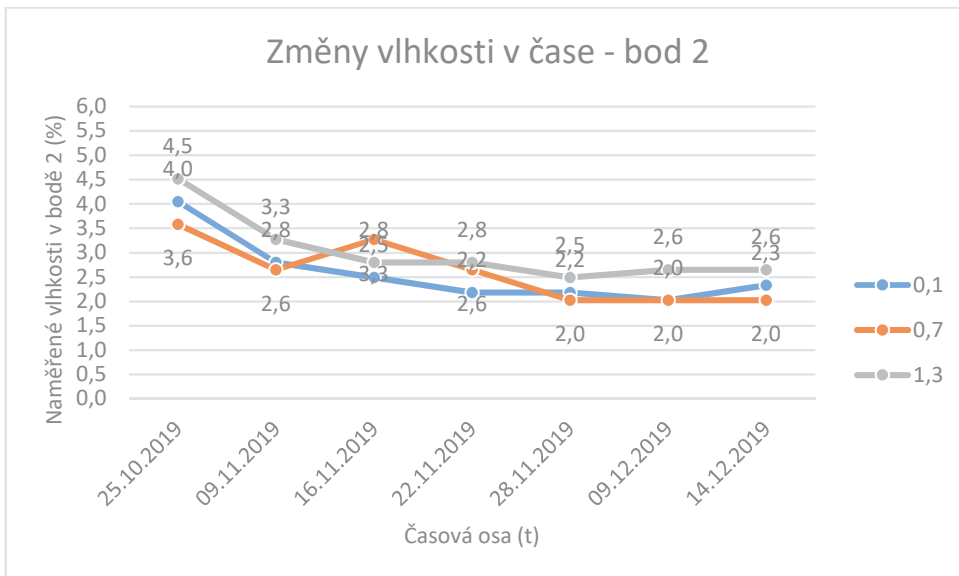
Následně byly vytvořeny lineární grafy pro zobrazení vlhkostního chování konstrukcí v jednotlivých bodech a výškových úrovních během měřeného intervalu (25.10.2019 – 14.12.2019).



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 154 Výsledky dlouhodobého měření vlhkostního profilu č. 1

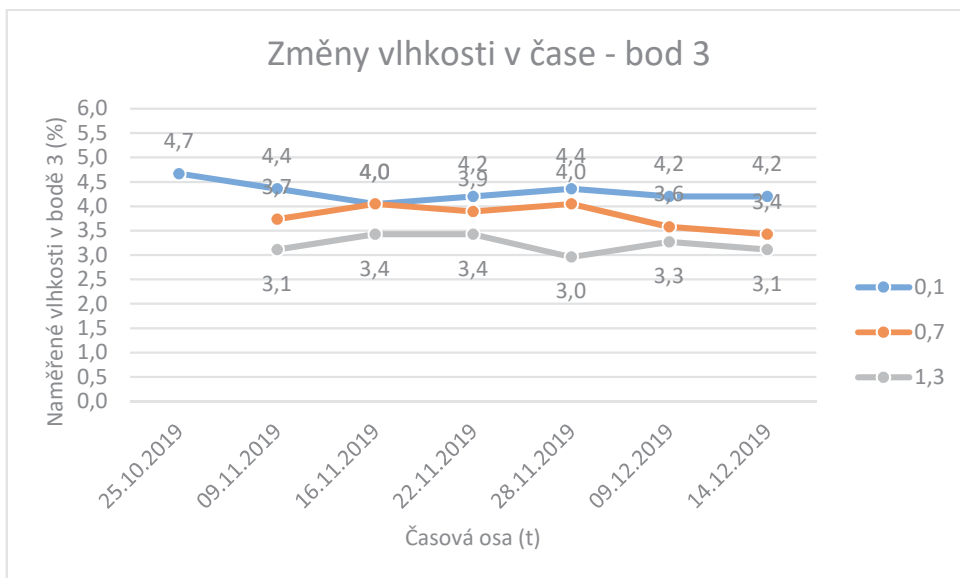


Obr. 155 Výsledky dlouhodobého měření vlhkostního profilu č. 2

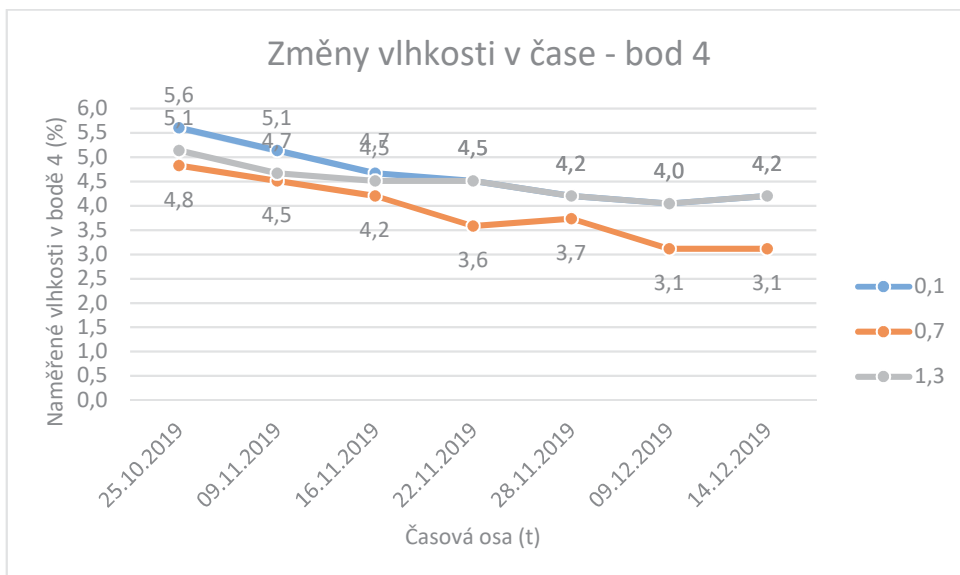




## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 156 Výsledky dlouhodobého měření vlhkostního profilu č. 3



Obr. 157 Výsledky dlouhodobého měření vlhkostního profilu č. 4

Při měření vlhkosti lze odporový vlhkoměr Greisinger GMH 3810 nastavit na několik módů měření betonu. Jednotlivé módy se liší v množství použitého cementu na 1 m<sup>3</sup> betonové směsi. V závislosti na nastavení měřeného materiálu se mění rozsah naměřených hodnot (viz. Obr. 158).



## 12 Příloha B: Další materiály

Zvolte měřený typ materiálu Nr. (číslo) a nastavte ho na přístroji. příklad: beton B25 = b. 6

### 12.1 Měření stavebních materiálů:

materiál	č.	rozsah
beton		
Beton 200kg/m <sup>3</sup> B15 (200 kg cementu na 1m <sup>3</sup> písku)	b. 5	0,7..3,3%
Beton 350kg/m <sup>3</sup> B25 (350 kg cementu na 1m <sup>3</sup> písku)	b. 6	1,1..3,9%
Beton 500kg/m <sup>3</sup> B35 (500 kg cementu na 1m <sup>3</sup> písku)	b. 7	1,4..3,7%
Plynobeton (Hebel)	b. 9	1,6..100,0%
Plynobeton (Ytong PPW4-0,55)	b. 27	1,6..53,6%

Obr. 158 Přehled materiálového nastavení odporového vlhkoměru Greisinger 3810 [33]

Nastavení módu měření odporového vlhkoměru lze nastavit na množství 350 kg cementu na 1 m<sup>3</sup>, nebo na 500 kg cementu na 1 m<sup>3</sup>. Z dostupných protokolů o provedených dobových zkouškách pevnosti betonu po 7 dnech nalezených v Kloknerově ústavu ČVUT v Praze bylo zjištěno, že do betonové směsi bylo použito 400 kg cementu na 1 m<sup>3</sup> směsi. Na základě tohoto zjištění bylo použito nastavení na množství 350 kg cementu na 1 m<sup>3</sup>, jakožto hodnotu bližší skutečnosti. Dalším kritériem ovlivňujícím přesnost měření byla struktura materiálu a kvalita provedení betonáže. Vzhledem k hrozícímu nebezpečí napadení bylo nutné objekty lehkého opevnění stavět velice rychle, což mělo také zásadní vliv na kvalitu provedení betonáže. Kvalita betonáže byla snížena také tím, že betonová směs byla hutněna pomocí ručních pěstů. Kvůli velkému tlaku na rychlost výstavby a kvůli ručnímu hutnění betonu, mají betonové konstrukce jisté imperfekce, které mohou značně zkreslovat výsledky měření odporovým vlhkoměrem.

Imperfekce betonových konstrukcí lehkého opevnění:

- Nedostatečné hutnění – kaverny
- Nehomogenní struktura betonu
  - velké frakce hutného kameniva
  - ocelová výztuž
- Kombinace betonů rozdílných kvalit

Aby bylo možné naměřené hodnoty prohlásit za směrodatné, bylo potřeba zjistit přibližnou míru vlivu uvedených imperfekcí a použitého nastavení vlhkoměru. Z tohoto důvodu byl zaveden korekční součinitel K (-), který zohledňoval skutečnou strukturu a



parametry betonové konstrukce. Následně byly tímto součinitelem násobeny naměřené hodnoty vlhkostí.

### **Stanovení korekčního součinitele K (-)**

Pro stanovení korekčního součinitele K byl využit jeden z odebraných vzorků (viz. kapitola 3). Základním předpokladem pro stanovení tohoto součinitele bylo shodné, nebo přibližně stejné provedení betonové směsi a následné betonáže. Pro přesnější stanovení tohoto součinitele by bylo nutné odebrat vzorek betonu přímo z měřeného objektu lehkého opevnění C-27/56a/A-140. Odebrání vzorku by však vyžadovalo destruktivní nenávratný zásah do konstrukcí tohoto objektu. Jelikož cílem celého projektu NAKI II, v rámci kterého je zpracována tato DP, je návrh funkčního sanačního opatření pro obnovu a konzervaci těchto objektů, destruktivní odběr vzorku by způsobil nenávratné škody, které jsou proti smyslu celého projektu.



*Obr. 159 Vzorek odebraný z rozvaleného opevnění – osazení sond*



*Obr. 160 Měření vlhkosti vzorku betonu*

Pro stanovení korekčního součinitele K byla využita kombinace odporového měření vlhkosti a gravimetrické zkoušky pro stanovení vlhkosti. Gravimetrická metoda je nejpřesnější metodou pro zjišťování vlhkosti vzorků konstrukcí. Do odebraného vzorku





byly vyvrtány otvory pro vsunutí kartáčových sond potřebných k měření pomocí odporového vlhkoměru. Otvory o průměru 6 mm byly provedeny v rozteči cca 90 mm a hloubce cca 70 mm. Následující den od vyvrtání otvorů bylo provedeno měření vlhkosti v ustáleném stavu v běžném prostředí pomocí odporového vlhkoměru. Vlhkoměrem byla zjištěna vlhkost odebraného vzorku  $w_{odp} = 1,9 \%$ . Dále byla pomocí digitální váhy KERN PEJ 4200 – 2M (s přesností  $\pm 0,1\text{g}$ ) zjištěna hmotnost vzorku v ustáleném stavu  $m_w = 4\,173,35\text{ g}$ . Po zaznamenání naměřených hodnot byl vzorek vložen do laboratorní sušárny, kde byl vysušen za teploty  $105 - 110\text{ }^\circ\text{C}$ . Po 5 dnech byl vzorek vyjmut ze sušicího zařízení a zvážen. Celý postup byl opakován, dokud nebylo dosaženo ustálené hmotnosti vzorku. Hmotnost suchého vzorku byla ustálena na hodnotě  $m_s = 4\,059,86\text{ g}$ .

Následně byla z naměřených hmotností stanovena vlhkost odebraného vzorku pomocí následujícího vztahu:

$$w = \frac{(m_w - m_s)}{m_s} * 100$$

$m_w$  – hmotnost vlhkého vzorku [g]

$m_s$  – hmotnost suchého vzorku [g]

$w$  – váhová (hmotnostní) vlhkost odebraného vzorku [%]

Výsledná vlhkost vzorku byla stanovena na  $w = 2,8 \%$ . Tato hodnota byla dána do poměru s hodnotou vlhkosti vzorku naměřeného v běžném prostředí, čímž byl zjištěn orientační korekční součinitel  $K_1$ , jehož hodnota byla  $1,4737$  [-].

$$K_1 = \frac{w}{w_{odp}}$$

$K_1$  – orientační korekční součinitel [-]

$w_{odp}$  – vlhkost vzorku naměřená odporovým vlhkoměrem [%]

$w$  – váhová (hmotnostní) vlhkost odebraného vzorku [%]

Vzhledem k tomu, že měřený vzorek nebyl plně saturovaný, byl proveden další krok pro výpočet přesnějšího korekčního součinitele  $K$ . Celý vysušený vzorek byl ponořen do vody pro dosažení saturace. Vzorek byl opět průběžně vážen, dokud nedošlo



k ustálení hmotnosti, která značila plnou saturaci vzorku. Hmotnost plně saturovaného vzorku byla  $w_{sat} = 4\,236,80$  g. Tato hodnota byla zaznamenána a byl opakován výpočet vlhkosti saturovaného vzorku.

$$w_{sat} = \frac{(m_{sat} - m_s)}{m_s} * 100$$

$m_{sat}$  – hmotnost saturovaného vzorku [g]

$m_s$  – hmotnost suchého vzorku [g]

$w_{sat}$  – hmotnostní vlhkost saturovaného vzorku [%]

Vlhkost saturovaného vzorku činila  $w_{sat} = 4,36$  %. Dále byla znovu změřena vlhkost vzorku pomocí odporového vlhkoměru, která ukázala hodnotu vlhkosti  $w_{sat,odp} = 2,8$ %. Následně byl znovu vypočítán poměr mezi hodnotami vlhkosti saturovaného vzorku získané gravimetrickou metodou a odporovým měřením.

$$K = \frac{w_{sat}}{w_{sat,odp}}$$

$K$  – korekční součinitel [-]

$w_{sat,odp}$  – vlhkost vzorku naměřená odporovým vlhkoměrem [%]

$w_{sat}$  – váhová (hmotnostní) vlhkost saturovaného vzorku [%]

Tímto výpočtem byl korekční součinitel  $K$  [-] stanoven na hodnotu 1,557. Následně byly veškeré hodnoty vlhkostí naměřené v objektu lehkého opevnění C-27/56a/A-140 upraveny tímto součinitelem, čímž došlo k zpřesnění měření. Výsledné hodnoty jsou znázorněny v tabulkách (viz. Tab. 14 – Tab. 20).

### **3.2.2 Laboratorní rozbor vápenných výluhů**

Pro návrh vhodného sanačního opatření pro obnovu či konzervaci betonových konstrukcí je zcela zásadním hlediskem chemické složení a salinita výluhů. Případný výskyt solí má negativní vliv na konstrukce a je omezujícím faktorem při výběru sanačních metod. Z tohoto důvodu bylo v rámci laboratorních zkoušek provedeno měření obsahu solí ve vzorku vápenného výluhu (měření salinity). Stanovení skutečného obsahu solí bylo provedeno v Chemické a mikrobiologické laboratoři katedry Konstrukcí



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

pozemních staveb, fakulty stavební ČVUT v Praze za pomoci paní Ivany Loušové. Pro testování salinity byl použit vzorek vápenného výluhu odebraný z objektu C-27/52a/A-140Z, nacházející se u obce Mradice.



Obr. 161 Místo odběru vzorku výluhu z objektu C27/56a/A-140 Z u obce Mradice

V rámci provedeného laboratorního testování byla zjišťována hodnota pH (kyselost/zásaditost) vzorku a dále přítomnost těchto solí:

- Chloridy:  $\text{Cl}^-$
- Dusičnany:  $\text{NO}_3^-$
- Sírany:  $\text{SO}_4^{2-}$
- Amoniak:  $\text{NH}_4^+$
- Vápník: Ca

Před zahájením testování vzorku na přítomnost solí byla provedena příprava vzorku k analýze. Testovaný vzorek se rozdrtil na jemnější frakci a následně se ze vzorku odměřilo množství cca 2 g určené k provedení měření. Poté došlo k nasypání zkoumaného vzorku do Erlenmayerových baněk a zalití 100 ml vody. Následně byla baňka uzavřena a vložena do ultrazvuku, aby došlo k dokonalému promíchání a rozpuštění solí ve vodě. Po uplynutí 10 minut byla baňka se vzorkem vyjmuta z ultrazvuku a zahřáta k bodu varu. Po dosažení bodu varu roztoku došlo k odstavení





baňky a ponechání sedimentaci vzorku do druhého dne. Druhý den byl připravený roztok vzorku pomocí pipety přečerpán bez pevných částic do čisté lahvičky. Odměřeno bylo cca 30 ml roztoku. U čirého roztoku mohlo následně dojít k měření hodnoty pH a testování obsahu vodorozpustných solí. Testování vzorků bylo provedeno kvalitativní analýzou a následně také kvantitativní analýzou.



Obr. 162 Vzorek vápenného výkvětu – Mradice (S1)



Obr. 163 Digitální váha KERN PEJ 4200 – 2M

### 3.2.2.a Kvalitativní (kolorimetrická) analýza

Kvalitativní analýza se využívá k předběžnému zjištění přítomnosti a přibližného množství jednotlivých druhů solí ve vzorku v mg/l. Při této analýze se používají analytické testovací proužky, které se ponoří do připraveného roztoku a po namočení ve vzorku se jednotlivé proužky zbarví. Zbarvení proužku se následně porovná s kolorimetrickou stupnicí, která stanoví orientační množství dané soli ve vzorku. Pomocí kvalitativní analýzy byl roztok otestován na přítomnost dusičnanů. Po namočení testovacího proužku do roztoku nedošlo k žádnému zbarvení, což signalizovalo, že se dusičnany ve vzorku vápenného výluhu nevyskytují. Toto zjištění bylo následně ověřeno pomocí kvantitativní analýzy.



Obr. 164 Kolorimetrické měření – dusičnany



Obr. 165 Kolorimetrické měření pH

### Hodnota pH

Hodnota pH udává, zda je roztok zásaditý, neutrální či kyselý. Tato hodnota se určuje pomocí kolorimetrické stupnice 0-14.

Tab. 21 Klasifikace látek dle pH

Klasifikace látek dle pH		pH vzorku S1
< 7	Zásadité	8,5
7	Neutrální	
> 7	Kyselý	

### 3.2.2.b Kvantitativní (fotometrická) analýza

Kvantitativní analýza vzorku byla prováděna pomocí UV-VIS fotometrického přístroje Spectroquant® Pharo300. Fotometrický přístroj pracuje na základě měření absorbce světelného paprsku procházejícího barevně upraveným roztokem (vzorkem). Zkoumaný roztok vzorku je nutné upravit pomocí přimíchání chemických látek, které mění zbarvení roztoku. Použití látek závisí na druhu zkoumané soli. Absorbce závisí na koncentraci roztoku. V případě, že se kvalitativní analýzou zjistí vysoká koncentrace, nebo pokud fotometr není schopen stanovit přesný obsah solí, pak je nutné vzorek zředit destilovanou vodou v poměru 1:10 nebo 1:100. Do přístroje se vsune kyveta s řádně promíchaným roztokem zkoumaného vzorku. Ihned po vložení kyvety do přístroje začíná



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

přístroj vysílat světelné paprsky o různých vlnových délkách v oblasti viditelného spektra. Z tohoto důvodu je nutné přístroj co nejrychleji uzavřít, aby nedošlo k vniknutí světla z okolí do přístroje, čímž by došlo ke zkreslení naměřených hodnot. Část spektra projde zkoumaným vzorkem a část spektra vzorek absorbuje. Přístroj měří absorbanci, ze které vypočítává koncentraci dané látky ve vzorku.



Obr. 166 Fotometrický přístroj Spectroquant® Pharo 300

### Chloridy

Tato metoda, kterou se zjišťuje obsah chloridů je založena na reakci chloridových iontů s thiokyanátem rtuťnatým, při které vzniká mírně disociovaný chlorid rtuťnatý. Následně uvolněný thiokyanát reaguje s železitými ionty, čímž vzniká červený thiokyanát železitý, jehož stanovení se provádí fotometricky. Metoda je analogická s **EPA 325.1 a US Standard Methods 4500-CTE**. [6]

### Dusičnany

Principem zjišťování obsahu dusičnanů je chemická reakce iontů dusičnanů s derivátem kyseliny benzoové, která probíhá v koncentrované kyselině sírové. Touto reakcí vzniká červeně zbarvená nitro sloučenina, jejíž koncentrace je měřena fotometricky. [7]





### **Sírany**

Metoda zjišťující obsah síranů je postavena na chemické reakci iontů síranů s jodičnanem barnatým, při které se uvolňují ionty jodičnanu. Ionty jodičnanu oxidují tanin, čímž vzniká hnědočervená sloučenina. Stanovuje se fotometricky. Metoda je analogická s **EPA 375.4, APHA 4500-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> E a ASTM D516-11**. [8]

### **Amoniak**

Amoniakální dusík se vyskytuje ve formě amonných iontů a jako amoniak. Tyto dvě formy jsou v rovnováze, která je závislá na hodnotě pH. V silně alkalických roztocích NH<sub>4</sub>N přítomen téměř výhradně jako amoniak. Probíhá chemická reakce amoniaku s chlornany, čímž vzniká monochloramin. Následnou reakcí Monochloraminu a thymolu vzniká modrý indofenol. Koncentrace indofenolu se stanovuje fotometricky. Metoda je analogická s **EPA 350.1, APHA 4500-NH<sub>3</sub> D a ISO 7150/1**. [9]

### **Vápník**

Princip zjišťování přítomnosti vápníku spočívá v reakci iontů vápníku s ftalinovým derivátem za vzniku fialového barviva, která probíhá v alkalickém roztoku. Koncentrace se stanovuje fotometricky. 8-hydroxychinolin obsažený v činidle Ca-1 zabraňuje interferenci hořčíku a železa. [10]



Obr. 167 Zkouška na přítomnost síranů



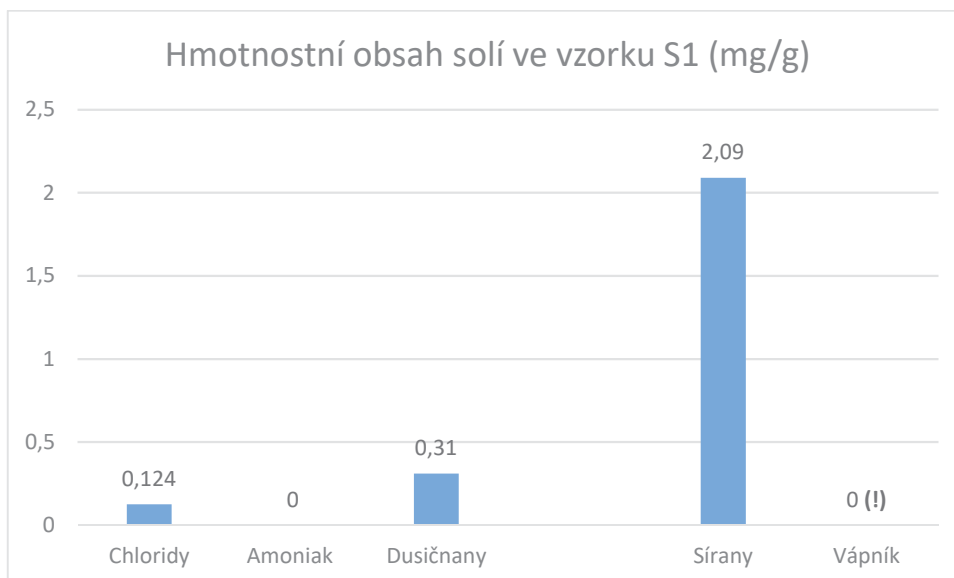
Obr. 168 Kvantitativní analýza vzorku – vápník



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

Tab. 22 Výsledky laboratorního měření

Látka	Analýza	Naměřené hodnoty H (mg/l)	Přepočtené hodnoty (mg/g)	%
Chloridy	Fotometrie	< 2,5	0,124	0,0124
Amoniak	Fotometrie	0	0	0
Dusičnany	Kolorimetrie	0	0,31	0,031
	Fotometrie	6,2		
Sírany	Fotometrie	42	2,09	0,209
Vápník	Fotometrie	0	0	0
pH	Kolorimetrie	8,5		



Obr. 169 Výsledek fotometrie vápenného výluhu vzorku S1 – Chybějící vápník značí nesprávný postup nebo nevhodnou metodu stanovení jeho množství v odebraném vzorku (!)

Výstupem z měření pomocí spektrometru je koncentrace měřené látky v roztoku (mg/l). Pro klasifikaci salinity (dle tab. 4) je nutné přepočítat koncentrace na mg/g dle následujícího vztahu:

$$c_g = \frac{c_l}{10} : m$$

$c_g$  – koncentrace látky v roztoku [mg/g]

$c_l$  – koncentrace látky v roztoku [mg/l]

$m$  – hmotnost měřeného vzorku [g]



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

Tab. 23 Klasifikace salinity zdiva dle ČSN P 73 0610 [5]

Tabulka B.1 - Salinita zdiva						
Stupeň zasolení zdiva	Obsah solí v mg/g vzorku a v procentech hmotnosti					
	Chloridy		Dusičnany		Sířany	
	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost
Nízký	< 0,75	< 0,075	< 1,0	< 0,1	< 5,0	< 0,5
Zvýšený	0,75 - 2,0	0,075 - 0,20	1,0 - 2,5	0,1 - 0,25	5,0 - 20	0,5 - 2,0
Vysoký	2,0 - 5,0	0,20 - 0,50	2,5 - 5,0	0,25 - 0,50	20 - 50	2,0 - 5,0
velmi vysoký	> 5,0	> 0,50	> 5,0	> 0,50	> 50	> 5,0

Vzhledem k tomu, že se objekt, ze kterého byl vzorek odebrán, nachází na okraji chmelnice, předpokládalo se, že bude prokázána vyšší hodnota přítomných dusičnanů. Po zařazení naměřených hodnot dle klasifikace salinity bylo zjištěno, že ve zkoumaném vzorku vápenného výluhu se nachází pouze stopové množství síranů, dusičnanů a chloridů.

Zcela nečekaným výsledkem však bylo zjištění, že kvantitativní analýza roztoku z vápenného výluhu neprokázala přítomnost vápníku v tomto roztoku. Po bádání v odborné literatuře bylo zjištěno, že zahřátím vzorku dochází k bránění rozpuštění vápníku v roztoku. Z tohoto důvodu byla zkouška na přítomnost vápníku opakována včetně přípravy nového roztoku.

Při opakovaném měření vápníku byly použity dva vzorky vápenného výluhu ze dvou různých objektů. Jeden vzorek byl tvořen původním výluhem z objektu u obce Mradice. Druhý vzorek byl odebrán z objektu lehkého opevnění nacházejícího se u místní komunikace na okraji obce Studeněves. Příprava obou vzorků probíhala výše uvedeným způsobem. Oproti původnímu měření byly vytvořeny koncentrovanější roztoky. Do roztoku byly vsypány rozdrcené výluhy o hmotnostech 7,26 g (S1) a 7,93 g (S2), které byly zalaty 50 ml vody. Na rozdíl od původního měření nebyly zkušební roztoky v Erlenmayerových baňkách zahřívány na teplotu varu. Zahřívání probíhalo pouze pomocí ultrazvuku na teplotu max. 30 °C.





*Obr.170 Zahřívání vzorků S1 a S2 pomocí ultrazvuku*

Výsledky této analýzy sice odhalily přítomnost vápníku v obou vzorcích, ale jeho naměřené hodnoty prokazovaly pouze stopová množství. Množství vápníku naměřené ve vzorcích opakovanou kvantitativní analýzou jsou zobrazena v tabulce Tab. 24

*Tab. 24 Výsledek opakované spektrometrické analýzy vzorků – vápník*

Vzorek	Lokalita	Množství vzorku M (g)	Naměřené hodnoty H (mg/l)	Přepočtené hodnoty (mg/g)	%
S1	Mradice	7,26	15	0,207	0,0207
S2	Studeněves	7,93	8	0,101	0,0101

### **3.2.2.c Metoda ED-XRF Spectroskopie**

Vzhledem k důvodným pochybnostem ohledně zjištěných výsledků bylo třeba najít novou nezávislou metodu zjištění množství vápníku ve vzorcích vápenného výluhu. Po konzultaci s prof. Ing. Milenou Pavlíkovou, Ph.D. z Katedry materiálového inženýrství Fakulty stavební, ČVUT v Praze, byl vyvozen závěr, že vhodnou a spolehlivou metodou pro zjištění složení obou vzorků bude metoda ED – XRF Spectroskopie. Vzhledem k tomu, že se jedná o metodu, která vyžaduje jisté dovednosti potřebné k ovládnutí zařízení pracujícímu s ED – XRF spektroskopií, bylo toto měření



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace

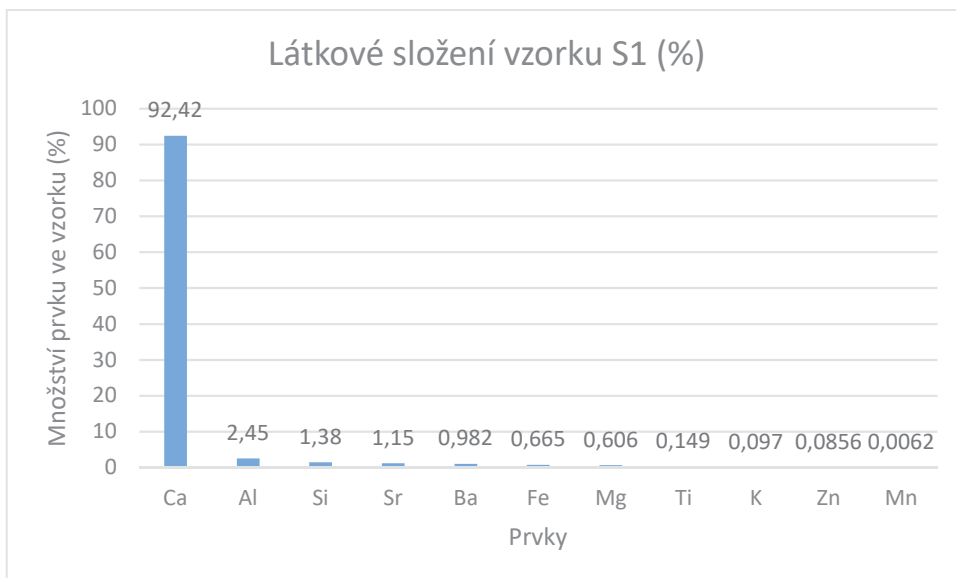
provedeno za pomoci akademických pracovníků laboratoře Katedry materiálového inženýrství, Fakulty stavební, ČVUT v Praze pod vedením prof. Ing. M. Pavlíkové, Ph.D. Metoda ED – XRF Spectroskopie provádí rychlou nedestruktivní mnohaprvkovou analýzu vzorku. Tato analýza je schopna měřit prvky do fluoru (F) až po uran (U) v širokém rozsahu koncentrace od desetin ppm do 100 %. Pomocí ED – XRF lze analyzovat homogenní nízkoviskózní materiály, vzorky v pevném skupenství, strusky, prášky, plasty a tenké vrstvy. Tato metoda skutečně prokázala, že oba vzorky vápenných výluhů jsou převážně tvořeny vápníkem, dle původního předpokladu. Složka vápníku zaujímala dle naměřených výsledků 92,42 % a 95,32 % z celkového složení vzorků. Dalšími prvky, které byly zjištěny v obou vzorcích byl hliník, křemík, stroncium, hořčík, baryum a železo. Ve složení vzorku odebraného z objektu v obci Mradice byla zjištěna přítomnost titanu, draslíku, zinku a manganu. Ve složení vzorku odebraného z objektu v obci Studeněves byla zjištěna přítomnost niklu. Přehled prvkového složení obou vzorků je zobrazeno níže (viz. Tab. 25).

Vzorek	Lokalita	Látkové složení	Chemické označení	Množství (%)
S1	Mradice	Vápník	Ca	92,42
		Hliník	Al	2,45
		Křemík	Si	1,38
		Stroncium	Sr	1,15
		Baryum	Ba	0,982
		Železo	Fe	0,665
		Hořčík	Mg	0,606
		Titan	Ti	0,149
		Draslík	K	0,097
		Zinek	Zn	0,0856
		Mangan	Mn	0,0062
S2	Studeněves	Vápník	Ca	95,32
		Hliník	Al	2,11
		Křemík	Si	0,79
		Stroncium	Sr	0,689
		Hořčík	Mg	0,632
		Baryum	Ba	0,326
		Železo	Fe	0,117
		Nikl	Ni	0,0162

Tab. 25 Složení vzorků dle metody ED – XRF Spectroskopie



## Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace



Obr. 171 Výsledky ED – XRF analýzy – Látkové složení vzorku S1



Obr. 172 Výsledky ED – XRF analýzy – Látkové složení vzorku S2

Výsledky provedené ED – XRF analýzy potvrdily, že se u obou odebraných vzorků skutečně jedná o vápennou sůl (uhličitan vápenný).





### 3.2.2.d Mikroskopická analýza

Z roztoků vytvořených pro účely kvantitativní analýzy vzorků S1 a S2 byly odebrány vzorky drcených vápenných výkvětů pro zkoumání mikroskopické struktury obou výkvětů.

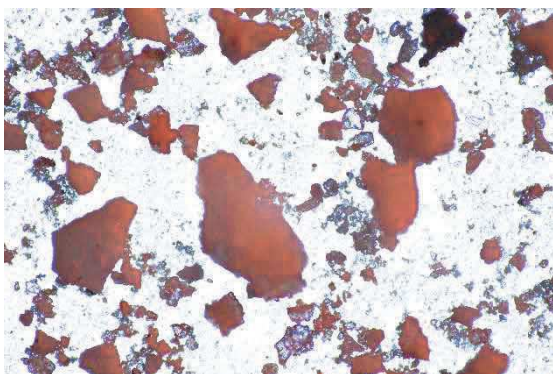


Obr. 173 Mikroskop s přidavným fotoaparátem

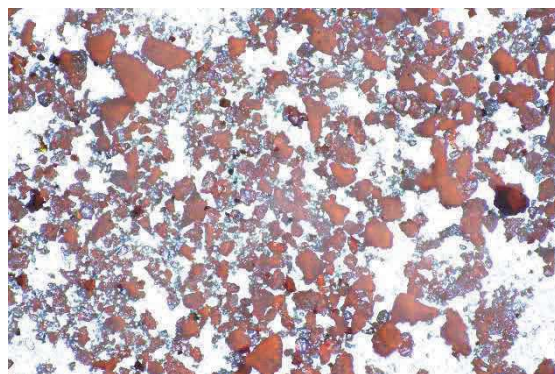


Obr. 174 Vzorky vápenných výkvětů na mikroskopických sklíčkách

Oba odebrané vzorky byly nanесeny na mikroskopická sklíčka, která byla následně označena dle příslušného vzorku. Poté byla sklíčka s preparáty umístěna pod mikroskop, kde byla zjišťována jejich struktura před krystalizací (Obr. 175 a 22). Na snímcích jsou patrné pevné segmenty vápenných výkvětů rozprostřených v čirém roztoku.



Obr. 175 Vzorek drceného vápenného výkvětu před krystalizací – S1

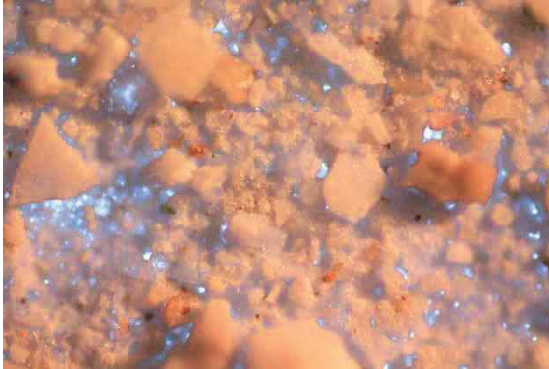


Obr. 176 Vzorek drceného vápenného výkvětu před krystalizací – S2

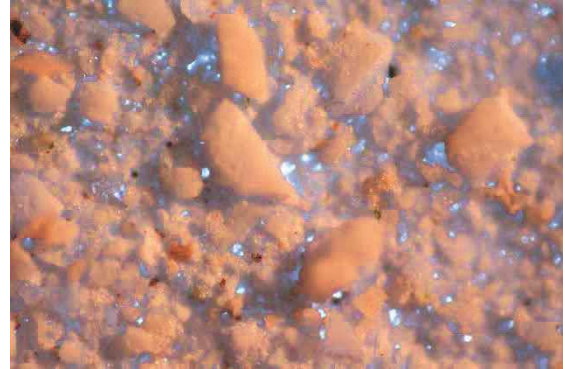
Dále byla obě sklíčka s preparáty umístěna do skleněné misky, která byla umístěna na topení. Následně byly vzorky S1 a S2 ponechány přibližně týden na topení, kde vlivem



odpařování vody z roztoku docházelo ke krystalizaci obou vzorků. Na obr. 23 a 24 jsou vidět vzorky vápenných výkvětů po zkrystalizování.



*Obr. 177 Vzorek drceného vápenného výkvětu po krystalizaci – S1*



*Obr. 178 Vzorek drceného vápenného výkvětu po krystalizaci – S2*

Z výše uvedených snímků je patrné, že v obou roztocích bylo značné množství rozpuštěných látek. Tyto látky po odpaření tekutiny roztoku zkrystalizovaly.



## **4 KONCEPČNÍ NÁVRH SANAČNÍHO OPATŘENÍ**

Tato kapitola se věnuje koncepčnímu návrhu možnosti sanačního opatření vybraných poruch. Pro zpracování návrhu opatření byly vybrány následující poruchy:

- Vlhkost betonových konstrukcí
- Vápenné výkvěty
- Ztráta adheze vnějších omítek

Vzhledem k tomu, že se jedná o velice specifické stavby nejen z hlediska účelu, ale i z hlediska konstrukčního a z hlediska technologie provádění, je nutné k jejich sanaci také přistupovat s určitými odlišnostmi oproti sanacím běžných staveb. Vývoji komplexního návrhu sanačních opatření pro objekty nejen lehkého, ale i těžkého opevnění bude i nadále věnována pozornost v rámci výzkumného projektu NAKI.

### **4.1 Vlhkost betonových konstrukcí**

Jak již bylo zmíněno, zásadním problémem objektů lehkého opevnění vz. 37 je výskyt vody v betonových konstrukcích, jimiž jsou tyto stavby tvořeny. Kvůli nedokonalému hutnění betonové směsi ručními pěchy (tzv. pěchování) v průběhu betonáže jsou nejen na povrchu, ale také uvnitř konstrukcí neprobetonované vzduchové kapsy (tzv. kaverny) a kapilární póry, kterými se v konstrukci šíří voda. Tato skutečnost značně omezuje možnosti sanačních opatření, která by vedla k účinnému zabránění pronikání vody do konstrukcí.

Optimálním řešením z hlediska účinnosti by byla úprava struktury betonových konstrukcí pomocí plošného vyplnění vzduchových kapes a kapilárních pórů injektážní cementovou maltou (tzv. plošné injektáže). Vyplněním dutin a otevřených pórů by bylo zabráněno transportu vody v konstrukci nejen pomocí kapilárního vztlínání, ale i průsaku dešťové vody z volného povrchu a netlakové vody prosakující ochranným zemním valem. Jelikož se však jedná o velice nákladné opatření, jehož investice by byla mnohonásobně vyšší, než je ekonomická hodnota objektů, bylo navrženo alternativní opatření, a sice použití krystalizačních nátěrů na vnější i vnitřní povrchy konstrukcí objektů lehkého opevnění.





Krystalizační nátěry fungují na principu chemické reakce, jež způsobuje dodatečný krystalizační proces. Dodatečnou krystalizací dojde k zaplnění kapilárně aktivních pórů betonu speciálními krystaly, čímž dojde ke znemožnění dalšího transportu vody pórovým systémem. Pro dosažení procesu dodatečné krystalizace je nezbytnou podmínkou přítomnost vody v kapilárních pórech trvajících po určitou minimální dobu. Po aplikaci krystalizační látky se v kapilárně aktivních pórech vytváří krystal, který přítomnou vodu spotřebuje pro samotnou reakci (růst krystalu). Doba, po kterou jsou póry zaplněny vodou ovlivňuje, zda bude rozsah dodatečné krystalizace dostatečný pro utěsnění pórů krystalem. Průběžné odporové měření vlhkosti konstrukcí v objektu C-27/56a/A-140, prováděné v rámci stavebně-technického průzkumu, potvrdilo, že jsou měřené konstrukce trvale vlhké, čímž je tato podmínka pro použití krystalizačních nátěrů splněna. Výhodou krystalizačních hydroizolací je, že proces krystalizace neprobíhá pouze na povrchu, ale postupuje dále do hloubky ošetřené konstrukce (cca 100–150 mm), čímž je zajištěna trvanlivost tohoto opatření.

Krystalizační nátěry je nutné aplikovat celoplošně na povrchy konstrukcí. Krystalizačním procesem dojde k uzavření vody přítomné uvnitř konstrukce a také k zabránění dalšího pronikání vody do konstrukce. V ideálním případě by měla být aplikace nátěru provedena na všech vnitřních i vnějších plochách konstrukcí, což vyžaduje u většiny objektů alespoň částečné odtěžení ochranného zemního valu. Je-li zemní val tvořen nejen samotnou zeminou, ale také kamennou rovinaninou, která slouží ke zpevnění valu a je zeminou pouze pokryta z důvodu maskování, nebo je-li u některých objektů obnažení všech vnějších ploch znemožněno z jiného důvodu (např. navazující zástavba, přilehlé skalní těleso atp.), lze tyto konstrukce opatřit krystalizačním nátěrem pouze ze strany interiéru. Nedojde tak sice k zamezení dotace vodou, z exteriéru nicméně dojde k zamezení projevů vody působící v konstrukci na interiérové straně. Nevýhodou krystalizačních nátěrů aplikovaných dodatečně na starší betonové konstrukce je skutečnost, že jejich použitím nedochází k zabránění vzlínání vody do konstrukcí z podloží objektů, neboť je nelze aplikovat na základovou desku v plném rozsahu. Lze však omezit projevy vlhkosti konstrukcí ze strany interiéru.



## **4.2 Vápenné výkvěty**

Provedeným stavebně-technickým průzkumem objektů bylo zjištěno, že bez ohledu na to, zda jsou stavby lehkého opevnění dochovány v původním stavu, nebo zda již byly v nedávné době rekonstruovány, jsou na jejich površích patrné znovu se objevující vápenné výkvěty.

Nedílnou a nutnou součástí návrhu sanačního opatření zabráňujícímu vzniku a šíření vápenných výkvětů je důkladné odstranění již vzniklých výkvětů z povrchu betonových konstrukcí. Odstranění výkvětů probíhá obvykle ve třech krocích.

Prvním krokem je očištění povrchu konstrukce tlakovou vodou a důkladné namočení konstrukce.

V druhém kroku následuje rovnoměrná aplikace čistícího prostředku na navlhčený povrch konstrukcí. Pro čištění se používají přípravky na bázi kyselin, jejichž působením vznikají soli (dle použité kyseliny).

Třetím krokem pro odstranění vápenných výkvětů je důkladné očištění povrchu od vzniklých solí. Není-li povrch dostatečně omytý, může po zkrystalizování solí vlivem vysoušení konstrukce vzniknout povlak na povrchu konstrukcí.

Po odstranění vápenných výkvětů z konstrukcí je možné přejít k samotnému sanačnímu řešení této poruchy. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.2, vápenné výkvěty vznikají dlouhodobým vystavením hydroxidu vápenatého ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) vlhkému prostředí ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a působení oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Vznikající krystaly uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) prorůstají konstrukcí k povrchu přes otevřené póry. Vzhledem k tomu, že není možné optimálními prostředky zajistit vysušení betonových konstrukcí objektů lehkého opevnění, a tedy není možné zabránit vystavení hydroxidu vápenatého vlhkému prostředí, je nutné pro úspěšnou sanaci vápenných výkvětů zabránit prorůstání krystalů uhličitanu vápenatého kapilárními póry z konstrukce na povrch. Tohoto účinku je možné dosáhnout pomocí krystalizačního nátěru, jehož aplikace byla navržena již pro sanaci vlhkosti betonových konstrukcí v kapitole 3.1.1.



### **4.3 Ztráta adheze omítky**

Ztráta adheze omítky je velmi častou poruchou vyskytující se na objektech lehkého opevnění vz. 37. Příčiny této poruchy byly popsány v kapitole 3.1.3. Vzhledem k tomu, že omítky objektů lehkého opevnění jsou z hlediska teplot vysoce namáhanou součástí konstrukce, je nutné při návrhu sanačního opatření toto namáhání zohlednit.

Jako vhodné sanační opatření bylo v rámci této DP navrženo použití speciální omítkové směsi. Základním požadavkem kladeným na navrženou speciální omítkovou směs je především její teplotní roztažnost, jež by měla být stejná (nebo alespoň srovnatelná) jako teplotní roztažnost betonových konstrukcí. Použití omítkové směsi se stejnou tepelnou roztažností je klíčové pro eliminaci napětí ve styku omítky a betonové konstrukce. Dalšími požadavky kladenými na omítkovou směs jsou zejména mrazuvzdornost, mechanická odolnost, odolnost vůči agresivnímu prostředí (např. hnojiva atp.) či nasákavost. Nasákavost je eliminována použitím krystalizačního nátěru v rámci sanace vlhkosti betonových konstrukcí (viz. 3.1.1).

V rámci sanace těchto poruch je nutné odstranění stávajících, nesprávně provedených omítek včetně řádného očištění povrchu od volných částic. Zcela zásadním krokem pro úspěšnou aplikaci speciální omítky na konstrukce je vytvoření dokonalého adhezního můstku, pomocí něhož dojde k vytvoření chemické vazby mezi omítkou a betonovou konstrukcí. Propojení adhezním můstkem zajistí spolupůsobení obou částí a eliminuje tak možnost oddělení omítky od podkladu (ztrátu adheze).





## **5 ZÁVĚR**

Předmětem této diplomové práce bylo provedení stavebně – technického průzkumu vojenských objektů lehkého opevnění vzor 37 vystavených na území Československé republiky v letech 1937-38. Součástí DP bylo provedení rešerše podkladů k problematice objektů lehkého opevnění budovaného v letech 1937–1938. Následně byla provedena analýza poruch betonových konstrukcí. V rámci analýzy poruch byla provedena vlhkostní analýza pomocí dvou metod měření in-situ v objektech lehkého opevnění vz. 37 u obce Mradice. První metodou bylo jednorázové orientační měření vlhkosti pomocí kapacitního vlhkoměru v celkem osmi objektech. Druhou metodou bylo dlouhodobější měření vlhkosti konstrukcí pomocí odporového vlhkoměru, jenž sloužilo pro zjištění vlhkostního chování svislých betonových konstrukcí. Při provádění dlouhodobého měření byly zjišťovány také okrajové podmínky měření, jako je vnitřní teplota, vnější teplota, vnitřní relativní vlhkost, vnější relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu uvnitř i vně objektu. Provedená měření potvrdila, že konstrukce objektů lehkého opevnění obecně jsou vystavena působení vysoké vlhkosti. Součástí analýzy betonových konstrukcí byla také laboratorní analýza složení vápenného výkvětu. Laboratorní analýzou byla potvrzena původní hypotéza, že se jedná o vápenné soli vzniklé reakcí mezi portlandským cementem, oxidem uhličitým a vlhkostí. Následně byl zpracován koncepční návrh možnosti sanace vybraných poruch.

Sanačním opatřením eliminujícím projevy působící vody v konstrukcích bylo navrženo použití krystalizačních nátěrů na přístupných plochách v interiéru i v exteriéru. Krystalizační nátěry aplikované na konstrukce mají za úkol uzavření pórů betonu, čímž je zabráněno pronikání kapilární vlhkosti k povrchu konstrukce.

Navrženým sanačním opatřením bránícím opětovnému vzniku vápenných výkvětů bylo také použití krystalizačního nátěru na povrch konstrukcí v exteriéru, neboť jedinou možností, jak zabránit vzniku vápenných výkvětů, je změna struktury betonu v určité vrstvě (cca 100–150 mm) pod povrchem. Toto sanační opatření bude tématem dalšího výzkumu v rámci projektu NAKI.

Návrhem sanace ztráty adheze omítek bylo odstranění původních nesoudržných omítek v plném rozsahu a následná aplikace nové speciální omítky. Při aplikaci speciální



## **Pevnosti vzor 37 – stavebně-technický průzkum a možnosti sanace**

omítky je nutné správné vytvoření adhezního můstku, který je zcela klíčový pro soudržnost mezi dvěma materiály.

Pevnostní stavby z předválečného období jsou velice specifické objekty nejen z hlediska typologického a materiálového, ale také konstrukčního. Z tohoto důvodu je pro provedení správné sanace a konzervace těchto objektů důležité vytvoření specifického a komplexního návrhu sanačních opatření. K tomuto cíli směřuje celý projekt NAKI.



## **6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

RO	Rada pro opevňování
ŘOP	Ředitelství opevňovacích prací
DP	Diplomová práce
LO vz. 37	Lehké opevnění vzor 37 (objekty z let 1937–38)
ČSN	Česká státní norma
KVH	Klub vojenské historie
In-situ	na místě
ČVUT	České vysoké učení v Praze
Např.	například
Popř.	popřípadě
Apod.	a podobně
Tzv.	tak zvané
Atd.	a tak dále
cca	přibližně

## **7 POUŽITÁ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ**

Digitální měřič teploty a relativní vlhkosti vzduchu Greisinger GFTH 95

Kapacitní vlhkoměr Greisinger GMK 100

Odporový vlhkoměr Greisinger GMH 3810

Měřič rychlosti proudění vzduchu Greisinger GMH 3300

## **8 POUŽITÝ SOFTWARE**

AutoCAD 2016

Microsoft Office 365 ProPlus – word

Microsoft Office 365 ProPlus – excel





## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] PAZDZIORA, Mariusz. *Mapa Československa 1920 - 1938* [online]. In: . 2019 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3829635>
- [2] *Mapa opevnění* [online]. Opevneni.cz, Ropiky.net, 2011-2019 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://mapa.opevneni.cz/>
- [3] SAMEŠ, pplk. žen. Ing. Antonín. *Beton a jeho výzkum pro opevňovací stavby*. 1. Praha, 1937.
- [4] Ropiky.net. *Ropiky.net* [online]. 1999-2019 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: [www.ropiky.net](http://www.ropiky.net)
- [5] *Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení: ČSN P 73 0610*. Praha: Český normalizační institut, 2000. Česká technická norma.
- [6] *Merck - chloridy* [online]. 2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: [https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Chloride-Standard-Solution-CRM,MDA\\_CHEM-132229](https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Chloride-Standard-Solution-CRM,MDA_CHEM-132229)
- [7] *Merck - dusičnany* [online]. 2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: [https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Nitrate-Standard-Solution-CRM,MDA\\_CHEM-125037](https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Nitrate-Standard-Solution-CRM,MDA_CHEM-125037)
- [8] *Merck - sírany* [online]. 2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: [https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Sulfate-Standard-Solution-CRM,MDA\\_CHEM-125051](https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Sulfate-Standard-Solution-CRM,MDA_CHEM-125051)
- [9] *Merck - amoniak* [online]. 2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: [https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Ammonium-Test,MDA\\_CHEM-114752](https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Ammonium-Test,MDA_CHEM-114752)



- [10] Merck - Vápník [online]. 2018 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: [http://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Calcium-Test,MDA\\_CHEM-100049#anchor\\_PI](http://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Calcium-Test,MDA_CHEM-100049#anchor_PI)
- [11] FIC, Vladimír. *Československá opevnění v Lednicko-valtickém areálu (1936-1938)*. 1. Brno: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Brně, 2006. ISBN 80-86752-40-2.
- [12] MACOUN, Jiří. *Československé pevnosti*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005. Stručná historie. ISBN 80-251-0601-2.
- [13] KLEČKA, Tomáš. *Diagnostika vlhkých staveb*. Vyd. 1. Praha: Český svaz vědeckotechnických společností, 2000. ISBN 80-02-01366-2.
- [14] KOLÁČEK, Petr. *Fortifications in the Czech Republic: a guide to the most interesting sites*. 1st ed. Červený Kostelec: Fortbooks, 2014. ISBN 978-80-904463-2-8.
- [15] HOŠEK, Jiří a Ludvík LOSOS. *Historické omítky: průzkumy, sanace, typologie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007. Stavitel. ISBN 978-80-247-1395-3.
- [16] *Pražská čára* [online]. 2003-2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.prazskacara.cz/>
- [17] FRANČÍK, Josef, Vladimír BEDNÁR, Oldřich GREGAR a Milan JENČÍK. *Plzeňská čára: československé opevnění v západních Čechách*. 1. vydání. Dvůr Králové nad Labem: Jan Škoda - FORTprint, 2019. ISBN 978-80-86011-64-6.
- [18] LAKOSIL, Jan, Tomáš SVOBODA a Ladislav ČERMÁK. *Souboj bez vítěze: německé přípravy na dobývání čs. lehkého opevnění v roce 1938*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 2010. ISBN 978-80-204-2201-9.
- [19] STEHLÍK, Eduard. *Pamětní spis o česko-slovenském stálém opevnění*. 1. vyd. Přeložil Vladimír KUPKA. Dvůr Králové nad Labem: FORTprint, 2000. Pevnosti, sv. 16. ISBN 80-86011-10-0.



- [20] KUPKA, Vladimír. *Pevnosti a opevnění v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*. 2. vyd. Praha: Libri, 2002. ISBN 80-7277-096-9.
- [21] VONDROVSKÝ, Ivo. *Netypické objekty československého lehkého opevnění z let 1936-1938*. 1. vyd. Dvůr Králové nad Labem: FORTprint, 2005. Pevnosti, sv. 26. ISBN 80-86011-27-5.
- [22] DUBÁNEK, Martin, Jan LAKOSIL a Tomáš PILVOUSEK. *Nové putování po československém opevnění 1935-1989: muzea a zajímavosti*. První vydání. Praha: Mladá fronta, 2017. Tipy na výlet. ISBN 978-80-204-4393-9.
- [23] VLČEK, Milan. *Sanace vlhkého zdiva*. Vyd. 1. Praha: Český svaz vědeckotechnických společností, 2000. ISBN 80-02-01367-0.
- [24] BÁRTA, Jan. *Sanace vlhkého zdiva II*. Vyd. 1. Praha: Česká stavební společnost, Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ, 2006. ISBN 80-02-01802-8.
- [25] VLČEK, Milan. *Metody sanace vlhkého zdiva*. Vyd. 1. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ, 2007. ISBN 978-80-02-01945-9.
- [26] KLEČKA, Tomáš. *Metody průzkumu vlhkých staveb*. Vyd. 1. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ, 2007. ISBN 978-80-02-01944-2.
- [27] WITZANY, Jiří, Tomáš ČEJKA, Richard WASSERBAUER a Radek ZIGLER. *PDR - poruchy, degradace a rekonstrukce*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9. Dostupné také z: [http://toc.nkp.cz/NKC/201002/contents/nkc20102029616\\_1.pdf](http://toc.nkp.cz/NKC/201002/contents/nkc20102029616_1.pdf)
- [28] PAZDERKA, Jiří a Pavel REITERMAN. Czech WW2 Concrete Fortifications: Corrosion Processes and Remediation Method Based on Crystallizing Coating. *Acta Polytechnica*. 2019, **59**(4), 359-371.





- [29] *Analýza vlhkostních poruch pěchotních srubů (1937-1938) a návrh jejich sanace.* Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.
- [30] ANTON, Ing. Ondřej, Ing. Vendula BLAŽKOVÁ a Doc. Ing. Leonard HOBST, CSC. *Soudní inženýrství* [online]. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM®, s.r.o., 2005 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-03-175-178.pdf>
- [31] VETCHÝ, Ing. Jan. *Vápenné výkvěty* [online]. 2019 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://www.mct.cz/soubor/vapenne-vykvety>
- [32] BARNES, R. *Permeability Testing of Site Concrete.* Camberley: *The Concrete Society.* 2008.
- [33] GREISINGER, Electronic GmbH. *Návod k obsluze - odporový měřič vlhkosti materiálů GMH 3810.* Dostupné z: [www.greisinger.cz](http://www.greisinger.cz), 2018.
- [34] PAZDERKA, Ing. Jiří. Principy použití krystalizačních hydroizolací. In: *ASB-portal* [online]. 2008 [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/cement-a-beton/principy-pouziti-krystalizacnich-hydroizolaci>