



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**Katedra konstrukcí pozemních staveb**

**Analýza vlhkostních poruch pěchotních srubů (1937 - 38) a návrh  
jejich sanace**

**Moisture-related Failures of Historic Concrete Bunkers (1937-38)  
and its Repairing**

Diplomová práce

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.

**Bc. Magdalena Purkrťová**

---

**Praha 2015**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Purkrtová Jméno: Magdaléna Osobní číslo: 381259

Zadávací katedra: K124, Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Analýza vlhkostních poruch pěchotních srubů (1937-38) a návrh jejich sanace

Název diplomové práce anglicky: Moisture-related Failures of Historic Concrete Bunkers (1937-38) and its Repairing

Pokyny pro vypracování:

Rešerše technického řešení betonových konstrukcí pěchotních srubů z let 1937-38 z pohledu poruch způsobených vodou pronikající do konstrukcí, popsání příčin a následků, analýza vlhkostních poruch konkrétního objektu, návrh sanace betonových konstrukcí.

Seznam doporučené literatury:

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

Datum zadání diplomové práce: 29.2. 2016 Termín odevzdání diplomové práce: 22.5. 2016

  
Podpis vedoucího práce

  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

29.2. 2016

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)


# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Magdaléna Purkrtová

Název diplomové práce: Analýza vlhkostních poruch pěchotních srubů (1937-38) a návrh jejich sanace

Základní část: KPS podíl: 70 %

Formulace úkolů: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

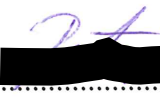
Podpis vedoucího DP: .....  Datum: 29.2.2016

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: Experimentální činnost podíl: 30 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Pavel Reiterman, Ph.D., K210

Formulace úkolů: Vyšetřování materiálových vlastností zkoumaného betonu; Stanovení transportních vlastností betonu; in-situ průzkum; termická analýza

Podpis konzultanta: .....  Datum: 29.2.2016

3. Část: \_\_\_\_\_ podíl: \_\_\_\_\_ %

Konzultant (jméno, katedra): \_\_\_\_\_

Formulace úkolů: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

4. Část: \_\_\_\_\_ podíl: \_\_\_\_\_ %

Konzultant (jméno, katedra): \_\_\_\_\_

Formulace úkolů: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

Poznámka: Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci (vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

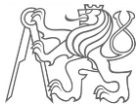
Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 22. 5. 2016

.....

Bc. Magdalena Purkrtová





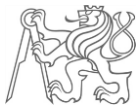
## **Poděkování**

Za umožnění vzniku této práce děkuji vedoucímu Ing. Jiřímu Pazderkovi, Ph.D., který mě s nadšením podporoval při odborném vedení tohoto projektu. Bez jeho cenných připomínek a zájmu o danou tematiku by tato práce vznikala jen těžko. Z akademické půdy stavební fakulty ČVUT v Praze vděčím také Ing. Pavlu Reitermanovi, Ph.D, který mi umožnil veškerou práci v laboratoři a absolvoval se mnou i práci v terénu.

Děkuji také za čas, který mi věnovali specializovaní pracovníci z laboratoří Ivana Loušová a Ing. Pavel Kokeš. Dále Mgr. Kamile Mádrové, Ph.D. pracovníci archivu ČVUT, ve kterém jsem trávila množství času při hledání historických dokumentů.

Tato práce by nemohla vzniknout bez cenných rad, podkladů a konzultací s odborníky z Klubu vojenství a historie Praha. Jsou jimi pánové Oldřich Gregar, Ing. Jan Škoda a další členové klubu.

Při výčtu zúčastněných osob nemohu v žádném případě zapomenout na svou rodinu. Bez vaší neutuchající podpory by nebylo nic z toho možné.



## **Anotace**

Diplomová práce se zaměřuje na analýzu vlhkostních poruch československých betonových vojenských objektů z konce 30. let 20. století. Práce v úvodu obsahuje teoretickou rešerši technického řešení betonových konstrukcí těchto budov získanou z historických záznamů. Následuje praktická analýza poruch na konkrétním objektu, zahrnující měření v terénu (vlhkost konstrukcí a vzduchu, povrchová teplota konstrukcí a koncentrace CO<sub>2</sub>), i měření v laboratoři (hledání chemického složení, vlhkost konstrukcí stanovená gravimetrickou metodou). Získané poznatky vedou k návrhu sanačního opatření, které je otestováno na vzorcích v laboratoři a zároveň i ověřeno pokusnou aplikací na konkrétním objektu.

**Klíčová slova:** sanace, vlhkost, poruchy, srub, krystalizační, nátěr, historický, vojenský, vodonepropustný, opevnění

## **Abstract**

This diploma thesis focuses on analysis of moisture-related failures of Czechoslovakia military concrete bunkers from end of 30s of 20th century. At first describes theoretical research of technical solution on concrete constructions from historical books. Next part of thesis is practical analysis of failures on selected bunker, including measurements in site (air humidity and structure moisture, surface temperature of structure and CO<sub>2</sub> concentration), also includes laboratory measurement (determination of chemical composition, construction moisture based on gravimetric method). Achieved results leads into design of rehabilitation, which is tested both on laboratory samples and experimentally application on selected bunker.

**Key words:** rehabilitation, moisture, failures, bunker, crystallization, coating, historical, military, waterproof, fortifications



## Obsah

1. Úvod.....	8
2. Rešerše výstavby pevnostních objektů.....	9
2.1. Beton.....	9
2.2. Izolační materiály.....	19
2.3. Těžké objekty.....	20
3. Pěchotní srub R-74.....	26
4. Záznam poruch způsobených vlhkostí.....	31
5. Analýza betonu.....	36
5.1. Metody analýzy betonu.....	36
5.2. Makrostrukturní analýza.....	42
5.3. Termická analýza.....	46
6. Chemická laboratoř.....	48
7. Měření vlhkosti konstrukcí v objektu.....	57
7.1. Měření kapacitním vlhkoměrem.....	57
7.2. Měření vlhkosti vzorku pomocí gravimetrických vah.....	60
8. Vnitřní prostředí.....	63
8.1. Aktuální stav vnitřního prostředí.....	63
8.2. Měření relativní vlhkosti vzduchu.....	64
8.3. Měření koncentrace CO <sub>2</sub> ve vzduchu.....	70
9. Sanační opatření.....	73
10. Krystalizační nátěry.....	76
11. Laboratorní zkoušky účinnosti krystalizačních nátěrů na betonu starém 80 let.....	78
11.1. Úprava vzorků v laboratoři.....	78
11.2. Měření.....	80
11.3. Závěr laboratorního měření.....	83
12. Sanace krystalizačním nátěrem v objektu.....	84
12.1. Aplikace nátěru na jižní suterénní stěnu.....	84
12.2. Pozorování.....	89
12.3. Výsledky sanačního opatření.....	91
13. Závěr.....	92
14. Reference.....	94
Seznam příloh – technické listy	



## 1. Úvod

Cílem práce bylo prostudovat problematiku výstavby vojenských objektů z období let 1937-38 na území československé republiky a zejména provedení stavebně technického průzkumu s analýzou vlhkostních poruch konkrétního objektu a následně návrh možné sanace těchto budov. Vhodnost navrženého opatření byla podložena laboratorními zkouškami a měřením na konkrétním objektu. Návrhu sanace předcházelo komplexní seznámení se s problematikou výstavby pevnostních betonových staveb. Další částí práce byl průzkum konkrétního objektu, ten počíná seznámením se s historií objektu a pokračoval analýzou konkrétních poruch způsobených vlhkostí. Analýza zahrnovala několik částí. Nejprve byla změřena hmotnostní vlhkost konstrukcí a relativní vlhkosti vzduchu v rámci celého objektu a porovnány jejich proměny v průběhu roku. Další částí byla chemická analýza, která pomohla identifikovat přesněji složení betonu a jak je toto složení kompatibilní s návrhem sanačního opatření. Z analýzy objektu bylo možné vyvodit závažnost poruch aktuálního stavu konstrukcí a jak v návrhu sanace postupovat. Jelikož je objekt občasně obýván, okrajově byla zhodnocena i kvalita vnitřního prostředí a jak je ovlivněna zvýšenou vlhkostí.

Následoval návrh nejvhodnějšího sanačního postupu a jeho otestování v laboratoři a přímo v sanovaném objektu. Testování v laboratoři se provedlo na odebraných vzorcích ze stavebních konstrukcí velmi podobného objektu. Odběr větších vzorků ze sanovaného objektu nebyl možný z důvodu jeho poničení. Testována byla vodonepropustnost sanovaných a referenčních vzorků ve vodotlačné stolici. V objektu bylo sanační opatření aplikováno s dostatečným předstihem v rámci předdiplomního projektu, aby bylo možné pozorovat jeho funkčnost v delším časovém období.

Výsledné opatření by mělo být vhodné nejen pro konkrétní objekt, ale pro řadu dalších staveb obdobné konstrukce.



## **2. Rešerše výstavby pevnostních objektů**

Pevnostní objekty z období let 1937-38 byly a jsou netradičními stavbami, proto budou v následujících kapitolách blíže popsány specifické požadavky na jejich výstavbu. Pojednány budou dva používané materiály, beton a izolační materiály, se kterými je důležité se seznámit pro vhodný návrh sanačního postupu. U betonu je zásadní jeho složení, dále i požadavky na jeho jednotlivé složky a jejich rozlišování v době výstavby. Bude shrnuto hodnocení kvality betonu s popisem dnes již nepoužívaných zkoušek. Záznamy z pevnostních a materiálových zkoušek jsou dodnes uchovány v archivu ČVUT, odkud jsem čerpala informace.

Pevnostní objekty se v průběhu 30. let vyvíjely ve více různých typů dle specifických kritérií. V druhé části se zaměřím podrobněji na těžké objekty, které jsou významnou skupinou z typů pevnostních objektů. Kapitola se týká převážně řešení odvodnění a ochrany objektů před vlhkostí.

Poslední částí je seznámení s historií konkrétního pěchotního srubu, na jehož sanaci budu pracovat. Objekt bude přesně popsán a doplněn výkresovou dokumentací v následujících kapitolách.

### **2.1. Beton**

V roce 1937 byl beton materiálem velmi moderním a oceňovaným kvůli jeho nepřekonatelným konstrukčním vlastnostem. Oproti zděným konstrukcím měl značnou únosnost i při malých průřezích a dokázal velmi dobře vzdorovat i účinkům vodorovného zatížení. Další výhodou byla tvarovatelnost betonu dle potřeby a možnost propojit celou konstrukci stavby a tím navýšit její tuhost. Vyzdvihována byla také zvyšující se únosnost vlivem stárnutí konstrukce a odolnost proti povětrnostním vlivům. Společnost se domnívala, že betonové konstrukce není třeba udržovat vůbec. Mezi další výhody patřila odolnost proti požáru a možnost vytvořit beton vodotěsný. Nezanedbatelnou výhodou byla cena. Železo, cement i vlastní zpracování byly velmi levné a také doba výstavby byla při použití rychle tvrdnoucích cementů velmi krátká. Všechny tyto kladné vlastnosti vynikly hlavně v porovnání s do té doby často používanými litinovými konstrukcemi. Beton měl i své nedostatky, například náročnost přestaveb a nákladnou demolici, pro některé typy staveb příliš dobrou vodivost zvuku, tepla a neprodyšnost konstrukcí.





V období 30. let 20. století se beton používal jen několik desetiletí, proto jeho vlastnosti a možnosti použití nebyly ještě příliš prozkoumané a docházelo často k pochybení. Příčinou zřícení železobetonových staveb byla hlavně absence odborníků při návrhu a na staveništi. Nehody vzbuzovaly v neodborné veřejnosti zpočátku silnou nedůvěru. Následně civilní i vojenské dohledací úřady začaly vydávat zvláštní nařízení o betonových stavbách, aby předešly nehodám při výstavbě. Nařízení byla poměrně často měněna a doplňována v souladu s novými poznatky. Stavební firmy se řídily civilními normami ČSN, především ČSN 1091–1935 Provádění betonářských prací. [1]

### 2.1.1. Cementy – portlandský cement

Pro opevňovací stavby se používal portlandský cement s obvyklou dobou tuhnutí. Ta musela dosahovat maximálně 15 hodin. Doba tuhnutí se měřila od přidání vody do okamžiku, kdy všechna cementová kaše ztuhnula. Speciální požadavek byl ale na počátek tuhnutí, který bylo třeba u pevnostních staveb oddálit minimálně na 5 hodin. Běžně se časová hranice počátku tuhnutí mezi pomalu tuhnoucími a rychle tuhnoucími betony pohybovala na 60 minutách. Pojem počátek tuhnutí se určoval od přidání vody k cementu do okamžiku, kdy směs přecházela do tuhého skupenství. Posunutí počátku tuhnutí se docílilo přidáním sádrovce a kysličníku křemičitého. Složení cementu bylo přesně definováno, jak uvádí Tabulka 1, k této směsi se přidávaly navíc 4% sádrovce. Posunutí počátku tuhnutí umožňovalo pracovat na velkých plochách bez tvorby pracovních spár, nová vrstva se připravila dříve, než předchozí začala tuhnout. Je nutné zmínit, že se pracovalo se zavlhlostí směsí, která se musela důkladně upěchovat, což bylo časově náročné.

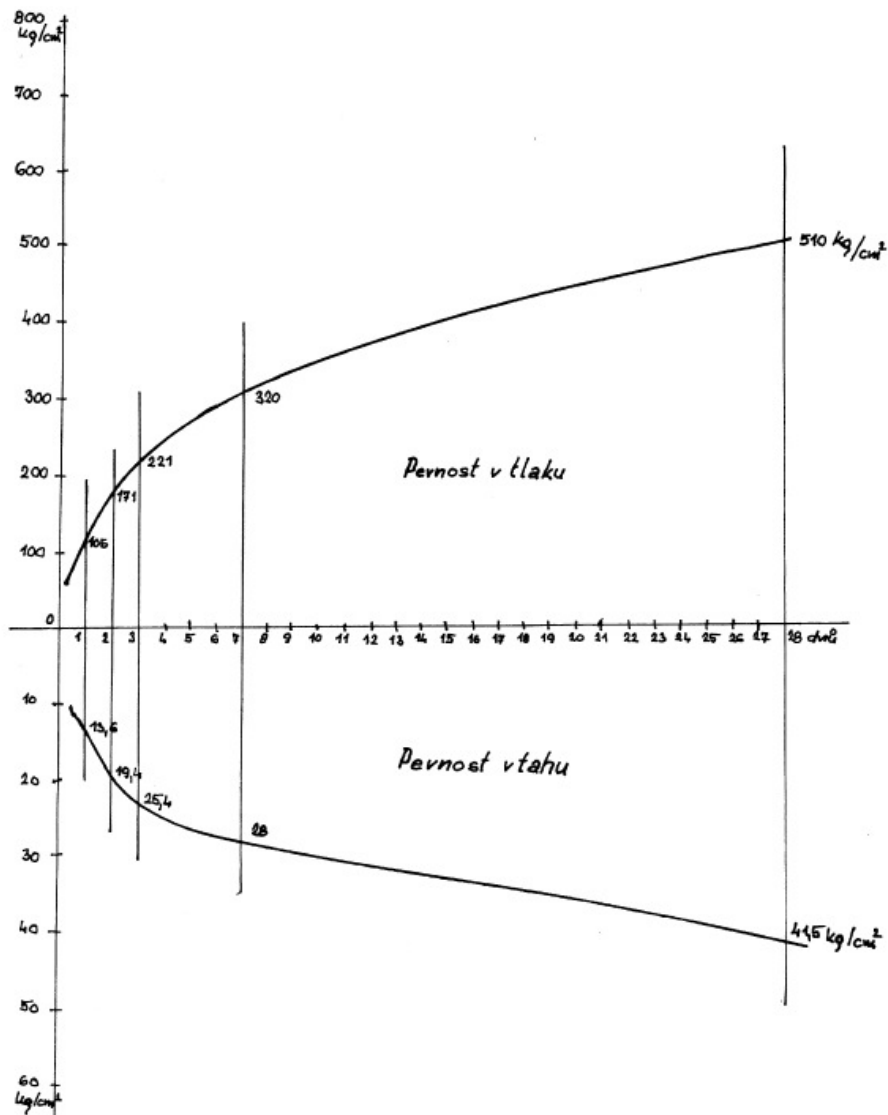
Tabulka 1: Složení slínek pro portlandský cement [1]

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%



Další podmínkou bylo udržet stejnoměrné vlastnosti cementu, u zkoušek se pevnost mohla lišit maximálně o 15%. Nejmenší přípustná pevnost normových tělísek po 28 dnech při střídavém uložení byla 450 kg/cm<sup>2</sup> v tlaku a 40 kg/cm<sup>2</sup> v tahu. Poměr pevností v tlaku a v tahu byl také zadán a nesměl překročit 1:12.

Záznam z provedené zkoušky z roku 1938 je k nahlédnutí na Obrázek 2.



Obrázek 1: Zkoušky pevnosti portlandského cementu pro potřeby opevňovacích staveb z roku 1937 [1]



Zkoušky na pevnost tělísek byly uvedeny v dobových normách, ale kromě nich musel cement vyhovět i zkouškám na objemovou stálost, jednalo se o tři zkoušky.

**1) Zkouška žhavení koule:**

Přesné množství 100 g cementu se rychle promíchalo s 18–22% vody, určenými podle hmotnosti. Ručním hnětením se zformovalo ve tvar koule, vhodné množství vody se poznalo, pokud směs nemazala prsty ani se nedrolila.

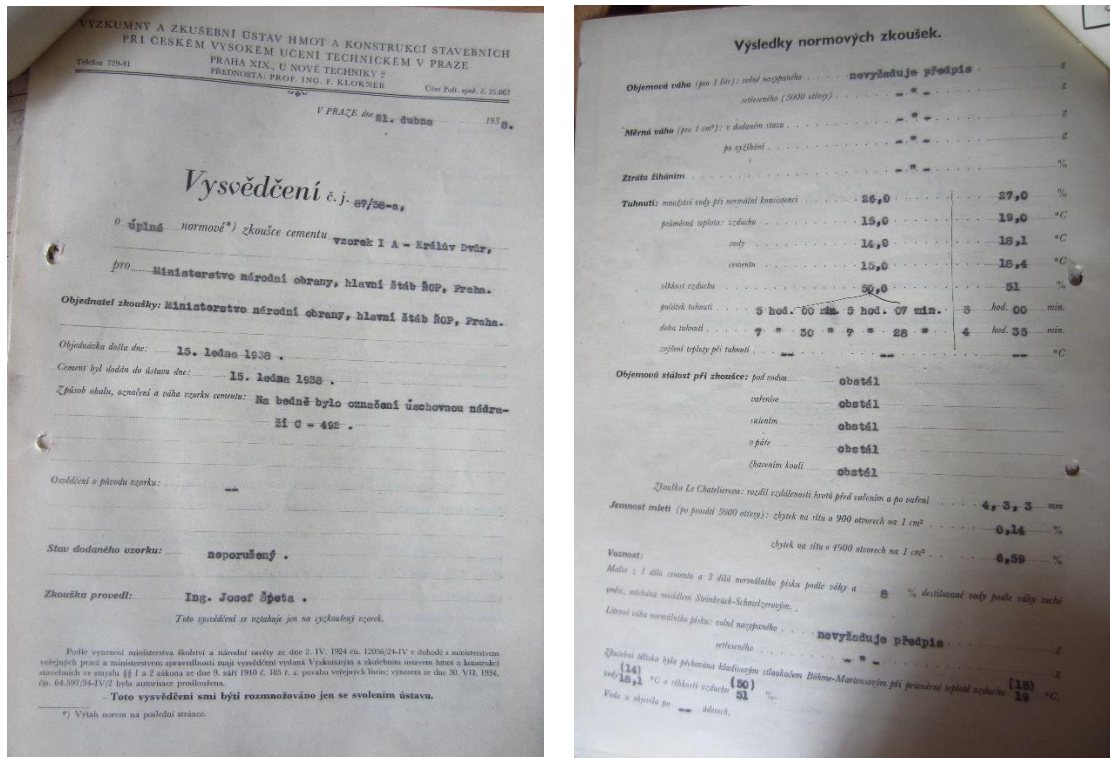
Následně se koule vložila na silnější železný plech, který se stejnoměrně ohříval kahanem. Nastalo tuhnutí, rozpínavé cementy značilo tvoření trhlin až rozpad koule. [1]

**2) Zkouška sušení koláče:**

Pro zkoušku se vytvořila cementová kaše z 200 g cementu a přiměřeného množství vody. Směs se rozlila ve tvaru „koláčů“ o průměru 10 cm a tloušťce 1 cm uprostřed, ztenčující se ke kraji, na dvě skleněné destičky. Vzorky se uzavřely do schránky, se stálou vlhkostí a krytou před sluncem. Po utuhnutí, minimálně po 24 hodinách, se vzorky vložily do sušárny na dobu 3 hodin při teplotě 120–130 °C. Koláče nesměly vykazovat žádné zkřiveniny nebo okrajové a síťkovité trhlinky. [1]

**3) Zkouška v páře:**

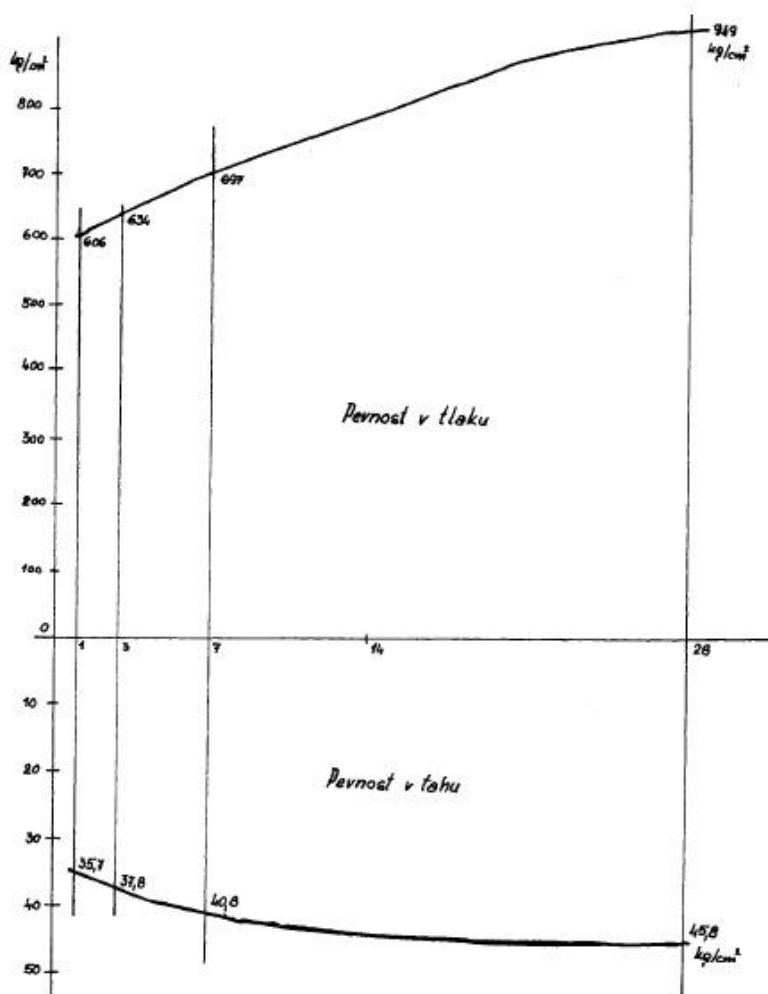
Koláčky připravené obdobně jako v předchozí zkoušce byly položeny na drátěnou síťku do větší nádoby naplněné dostatečně vodou, síťka byla umístěna asi 3 cm nad hladinou vody. Po přiklopení nádoby víkem s otvorem se voda přivedla k varu, po 3 hodinách se var přerušil a nádoba se nechala vychladnout. Výsledkem opět bylo, že koláče nesměly vykazovat žádné zkřiveniny ani trhliny. [1]



Obrázek 2: Vysvědčení o normové zkoušce cementu v době výstavby 21. 4. 1938 provedené při kurzu rotmistrů stavebnictví vedené prof. Ing. Kloknerem (foto autorka 4. 4. 2016) [2]

Mezi další typy cementu používané pro pevnostní objekty patřily bauxitové (hlinitanové) cementy. Byly vynalezeny ve Francii a lišily se nejen chemickým složením, ale i způsobem výroby. Oproti portlandským cementům obsahovaly téměř desetinásobné množství kysličníku hlinitého a malý obsah vápna, z čehož plynula vysoká odolnost proti sýrným vodám. Jejich hlavní předností bylo velmi rychlé tvrdnutí, při běžné době počátečního tuhnutí. Po krátké době, například po 12 hodinách, dosahovaly stejné pevnosti jako portlandské cementy po 28 dnech tuhnutí (Obrázek 3). Tato vlastnost umožňovala rychlý postup stavby a při sériové výrobě konstrukcí i lepší využití dřeva na bednění. Těchto výhod se využilo již v I. Světové válce při rychlé pevnostní výstavbě. [1]

V nedávné minulosti se používal na konstrukce namáhané rázem, například na pražce a silniční konstrukce nebo také v podzemním stavitelství. Dnes se hlinitanový cement nesmí používat pro nosné konstrukce, protože se zjistilo, že konstrukce z hlinitanového cementu vlivem vlhkosti nebo různých teplot ztrácejí pevnost a rozpadají se. Používá se především ke speciálním pracím vyžadující vysoké počáteční pevnosti. [3]



Obrázek 3: Zkoušky pevnosti hlinitanového cementu pro potřeby opevňovacích staveb z roku 1937 [1]

### 2.1.2. Kamenivo

Na kvalitu betonu měla vliv nejen jakost cementu, ale i kvalita kameniva a jejich správný poměr. Podle tehdejší normy byl písek pro opevňovací stavby do velikosti zrn 10 mm. Štěrk neboli shluk kamenných zrn o velikosti zrna 20–60 mm pro pevnostní stavby.

Kamenivo mělo být bez hlinitých a jílovitých součástí, podle ČSN 1091/1935 maximálně do 3% váhy kamenné směsi, pro opevňovací beton musely být kamenné součásti naprosto čisté. Jemný písek a koloidní součásti jílu způsobovaly pokles pevnosti betonu. Kameny, které byly součástí betonové směsi, musely mít minimální pevnost

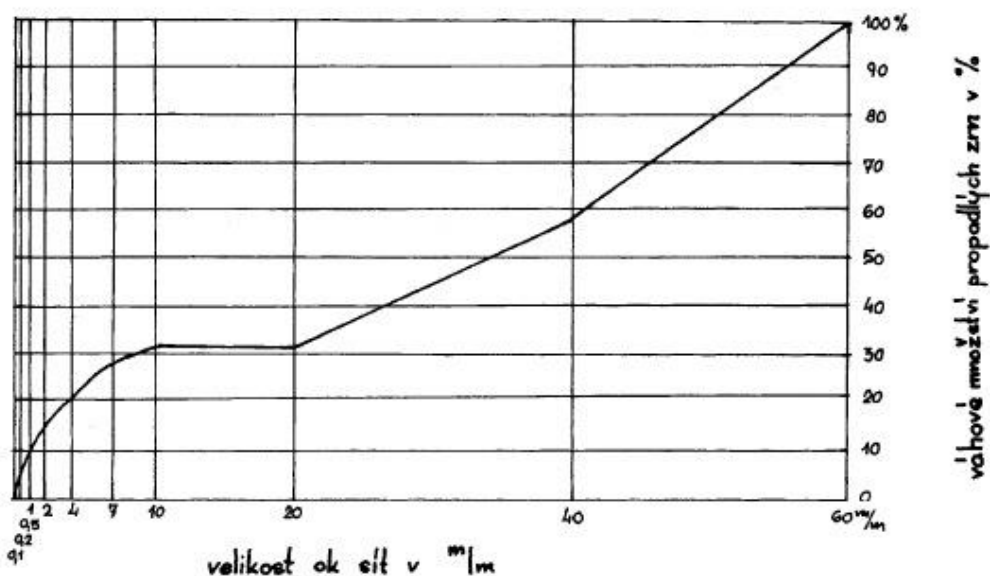




v tlaku  $1200 \text{ kg/cm}^2$ , u civilních staveb stačila pevnost v tlaku poloviční. Pevnost se zjišťovala na krychlich o hraně 4–6 cm. Vliv tvaru zrn na jakost betonu nebyl v této době prostudován, vědělo se jen, že nevhodná byla ve velkém množství značně plochá zrna.

Norma ČSN 1093/1935 se zabývala několika zkouškami vlastností kameniva, například: měrnou váhou kameniva, objemovou váhou kameniva, nasákavostí kamenných součástí a mezerovitostí písku a šterku.

Co se zrnitosti kameniva týká, z údajů o velikosti zrn vyplývá, že u pevnostních staveb chyběla zrna velikosti 10–20 mm, křivka zrnitosti nebyla plynule stoupající. Směs měla údajně větší pohyblivost a proto i lepší zpracovatelnost, díky tomuto zjištění mohl být přírůstek vody snížen na minimum. Menší množství vody zákonitě znamenalo větší hutnost a pevnost betonu, pro zavlhlý beton byla zmíněná směs kameniva ideální. Zkouškami u ženijního skupinového velitelství (ŽSV) byla nalezena čára zrnitosti směsi pro opevňovací objekty, udávala se ve váhových procentech množství zrn propadlých jednotlivými sítí o velikosti ok 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 4, 7, 10, 20, 40 a 60 mm. Od nuly do 0,2 mm stoupala čára pomalu, do 10 mm v křivce, do 20 mm frakce chyběla a od 20 mm do 60 mm stoupala v lomené čáře (Obrázek 4).



Obrázek 4: Čára zrnitosti směsi pro opevňovací beton pro potřeby opevňovacích staveb z roku 1937 [1]

Malé množství zrn frakce 0,1–0,5 mm měla směs z několika důvodů, prvním z nich byl požadavek na dokonalé obalení zrnka písku cementem. Pro obalení bylo nutné, aby zrnko cementu mělo průměr 6–7krát menší než je zrno písku, z toho by vyplývalo,



že průměr zrnka cementu by měl být 0,03–0,015 mm. Taková ale jemnost mletí cementu nebyla. Dalším důvodem byla povrchová plocha částí, která u jemných částí roste mnohem rychleji než u hrubého materiálu. Spotřeba tmele by byla větší, tím by se snížilo jeho množství v dutinách a následná zpracovatelnost, která by se řešila větším množstvím vody a tím by se snížila pevnost betonu. Třetím důvodem byla soudržnost jemných zrn, která se nerozptýlila a neobalila se cementem, tak vznikaly shluky bez pevnosti. Posledním důvodem byly bublinky vzduchu zadržované v jemném písku, ty se při míchání nevypudily a snižovaly hutnost cementové směsi a následnou pevnost betonu. [1]

### 2.1.3. Voda

Voda měla na pevnost betonu stejně důležitý vliv jako předchozí složky. Druh vody byl pro civilní i pevnostní objekty stejný, nejvhodnější byla voda dešťová nebo voda z čistých potoků a řek. Voda ze studní často obsahovala síran vápenatý, ten se slučoval s vápnem na sádro a způsoboval rozpínání betonu. Takto nevhodné vody byly bez účinku jen na cementy s nepatrným množstvím volného vápna, například cementy hlinitanové.

Množství vody ve směsi se udávalo vodním součinitelem, poměrem množství vody v litrech proti množství cementu v kilogramech:

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

ČSN 1091/1935 rozeznávala podle konzistence tři typy betonové směsi:

- zavhlou  $w = 0,4–0,55$  (i 0,25 při nasycení kameniva vodou)
- měkkou  $w = 0,45–0,7$
- tekutou  $w \geq 0,6$

Zavhlá betonová směs byla nejvhodnější na opevňovací stavby, měla nejmenší možné množství vody, aby se ještě dala zpracovávat na stavbě pýchováním. Nízký vodní součinitel vyžadoval důkladné zpracování, ale výsledkem byl beton s největší pevností v tlaku a tahu, s houževnatostí a s vysokou odolností proti opotřebením.

### 2.1.4. Vlastnosti

Objemové změny betonu byly fyzikálně nevyhnutelné, ale následkům ve formě trhlin se dalo úspěšně předejít. Pro omezení smršťování platily podobné zásady jako



pro docílení vysoké pevnosti. Co nejvyšší hutnost, vhodná zrnitost, správné množství vody a pečlivé zpracování betonové směsi. Pro opevňovací stavby byly zvláště nebezpečné povrchové trhlinky, kterým se dalo zabránit omezováním vysušování tvrdnoucího betonu.

Pevnost betonu byla závislá na mnoha zmíněných faktorech, doposud byla zdůrazněna hlavně pevnost v tlaku, ale pro opevňovací objekty byly důležité i pevnosti v tahu a ve smyku. Pevnost v tahu bývá 1/10 pevnosti v tlaku, přestože namáhání v tahu přejímala v konstrukci železná výztuž, bylo tuto hodnotu nutné zkoušet, například pro zjištění houževnatosti betonu. [1]

### 2.1.5. Výroba

Betonová směs se měla vyrábět na staveništi, co nejbližší části, na které se pracovalo. Cement se odměřoval podle váhy, kamenivo podle svého objemu nebo se také vážilo. Předepsaný poměr mísení byl uveden v kg cementu / 1 m<sup>3</sup> hotového betonu.

$$\text{Poměr mísení} = \frac{\text{cement} \quad [kg]}{\text{hotový beton} \quad [m^3]}$$

Aby byl poměr dodržen, výroba směsi se stanovovala zkouškami množství cementu v kg, kterého bylo třeba na 1 m<sup>3</sup> suchého kameniva nebo na jednu náplň míchačky.

Mísení betonové směsi probíhalo ručně nebo strojně. Ručně se mísilo jen na stavbách s malým objemem betonu, strojní mísení bylo dokonalejší. Mísení jedné náplně trvalo obvykle 1,5–2 min, plnění s vyprazdňováním 1–1,5 min, za hodinu mohlo být zpracováno až 20 náplní. Míchačky měly být jednoduché, aby bylo nutné jen minimum obsluhy, dále dostatečně robustní a odolné proti opotřebení. Nejčastěji se používala Ransomeova míchačka. Skládala se z krátkého válce, který se otočil 15–24krát za minutu kolem vodorovné osy, pomocí ozubeného věnce osazeného vně válce. Uvnitř byly zakřivené lopatky, kterými se směs mísila přepadem a posunem. Plnily se uzavíratelným trychtýřem a vyprazdňovaly se za chodu pomocí vyklápěcího žlábků, vyráběly se v různých velikostech s objemem náplně bubnu od 60–1200 litrů. Na každé míchačce muselo být zařízení pro měření množství přidané vody s přesností minimálně 2%, nikdy nemělo být přidávané množství vody jen na úvaze obsluhy. Do míchačky se nejprve vsypával hrubý štěrk 40 - 60 mm, následně písek, cement a štěrk 20–40 mm. Hotová směs se pomocí výtahových košů přemísťovala z míchačky do zásobníků.



Co se zpracování betonové zavhlé směsi týká, vodní součinitel této směsi podle ČSN 1093/1935 se pohyboval mezi 0,4–0,55, mohl být i menší, až 0,25 a to v případě, že kamenivo bylo nasycené vodou nebo byla-li směs dostatečně pohyblivá pro kvalitní zpracování mechanickými prostředky.

Dalším faktorem pro udržení vysoké pevnosti výsledného betonu bylo dokonalé spěchování směsi. Cílem bylo sražení šterkových zrn k sobě a vyplnění volných prostor cementovou maltou, pokud bylo spěchování nedostatečné, beton se stával porézním. Z praktických zkoušek byl definován vhodný počet rázů na jednotku plochy, na plošku 200 × 200 mm bylo třeba asi 96 rázů. Jednalo se o dvojnásobný počet, než který byl uveden v ČSN 1093/1935 čl. 52. Rozdíl byl také v ručním a strojním pýchování. Pneumatické pýchování bylo účinnější a dosahovalo se při něm až o 30% vyšších pevností betonu.

Směs se nanášela ve vrstvách tloušťky 150–200 mm u prostého betonu a u železobetonu v maximální tloušťce 150 mm. Vrstvy se musely pokládat bez přerušení, nová vrstva byla zpracována a nanášena vždy dříve, než začal tuhnout cement ve vrstvě předchozí, jinak by docházelo k tvorbě pracovních spár. V místě spár vzniklo nejslabší místo konstrukce, při povětrnostních vlivech či výbuších se vady v kritickém místě projeví nejvíce. Dalším problémem pracovních spár byla propustnost vody, zde k ní docházelo nejsnadněji. Řešením bylo pokládat vrstvy kolmo k vodnímu tlaku a pýchovat je rovnoběžně s ním. Pokud bylo přerušení betonáže nevyhnutelné, muselo se naplánovat na místa nejméně namáhaná. Pracovní spáry tvořené z konstrukčních důvodů byly nejméně škodlivé v místech, kde byl beton namáhan tlakem kolmým k nanášeným vrstvám. Betonáž se nikdy nesměla přerušit, na stavbách s monoliticky působící konstrukcí, jimiž byly opevňovací stavby. Pevnost betonu v pracovních spárách se zajišťovala železnou výztuží, asi 500 mm dlouhými dráty, které se na polovinu délky vložily do předchozí vrstvy. Méně účinným způsobem propojení vrstev bylo zdrsnění povrchu betonu, následné očištění, nasycení vodou a pokrytí řidší cementovou maltou, nakonec se na povrch upýchovala nová vrstva betonu. Další možností zvýšení soudržnosti vrstev bylo využití kameniva, vyčníval-li z betonu hrubý šterk, povrch se již nemusel uměle zdrsnovat.

Pevnost betonu nikdy nebyla stálá v celém svém objemu, ale ve směru pýchování byla vždy nejvyšší. Z tohoto důvodu bylo důležité pýchovat betonovou směs ve směru působících tlaků, vrstvy pak ležely kolmo na směr tlaku. [1]



### 2.1.6. Vlastnosti betonových opevňovacích staveb

Základní vlastností betonové opevňovací konstrukce byla její monolitčnost. Konstrukce byly díky tomu velmi tuhé a vzdorovaly zatížení nezávisle na jeho směru. Celá konstrukce byla jednolitá, bez spojů, rohy byly vetknuté. Mohlo dojít spíše k vychýlení celé stavby z původní polohy než k lokálnímu porušení konstrukcí. Další výhodou byla nespalnost konstrukcí, jak díky betonu u kterého docházelo k tání až při 1200 °C, tak díky masivnosti konstrukce. Kromě těchto vlastností se beton volil z důvodu rychlé výstavby, odolnosti proti vodě a plynům, možnosti libovolného tvarování a následného zesilování konstrukcí. A v neposlední řadě z důvodu finanční výhodnosti ve srovnání s ocelí. Poměr betonu a oceli ve stavbě byl 10–15:1 a poměr cen těchto materiálů v roce 1935 byl 1: 200, výsledkem byly betonové konstrukce 13–20krát levnější než ocelové. Práce na výstavbě mohly být prováděny i jen ručně a materiál jako voda a kamenivo byl dobře dostupný. Mezi nevýhody patřilo zpracování na staveništi, při kterém mohlo neodborným zacházením docházet k chybám. Velké množství spotřebovaného materiálu, na které často v polních podmínkách nemohly být použity dopravní prostředky. Značná zvuková vodivost betonu, která se dala odstranit pouze pomocí izolačních prostředků. [1]

Konstrukce byly navrhovány s ohledem na dynamické zatížení vyvolané nárazy střel. Statické zatížení vzhledem k mohutnosti konstrukce vyvolávalo poměrně malá napětí, jednalo se pouze o vlastní váhu konstrukce, váhu násypu na stopní desku a tlak zeminy na zdi.

## 2.2. Izolační materiály

V době výstavby opevnění byly používány pro izolační a asfaltérské práce běžné výrobky užívané i v civilním stavebnictví. Nejčastěji se jednalo o asfaltové lepenky doplněné několika nátěry asfaltových hmot. Hydroizolace se používala pouze na střešní část objektu, izolování spodní stavby bylo řešeno pouze drenáží a speciální omítkou. Asfaltové hmoty během několika let zdegenerovaly a přestaly fungovat. Blíže se tedy těmito materiály nebudeme zabývat. Nejsou pro tuto práci zásadní, jelikož jejich účinnost na budově je nyní nulová. [1]





## 2.3. Těžké objekty

Mezi typy pevnostních objektů patří lehké opevnění a opevnění těžké. Objekt z následující kapitoly je z řady těžkého opevnění, bude zmíněn postup výstavby těchto objektů.

Těžké objekty tvoří sruby dvou typů – izolované a tvrzové, které byly jako povrchové objekty propojeny schodišťovými šachtami s podzemím dělostřeleckých tvrzí. První těžké objekty se začaly stavět koncem roku 1935, výstavba byla velice náročná, protože chyběly zkušenosti s budováním těchto konstrukcí. A to jak z pohledu technologie betonáže, tak z pohledu izolace objektů proti vodě. Postupem času se odhalovaly slabiny a získávaly poznatky, které vedly k vylepšení projektů a úpravám projektové dokumentace. Po ustanovení ředitelství opevňovacích prací (ŘOP) byla projekční činnost sjednocena a vznikly první konstrukční podklady, které se staly typizačními podklady a výstavbu značně urychlily. [4]

Přesto byl až do roku 1938 každý objekt individuálně navrhován podle terénu a úkolu. Jistá dispoziční pravidla však byla dána předem, srub měl mít dvě patra, v horním měly být umístěny hlavně zbraně, v dolním patře pak strojní vybavení, sklady, ubikace, umývárny a zdroj vody. Jen v místech, kde byla vysoká hladina spodní vody, a nebylo možné vytvořit spodní patro, narůstala plošná velikost patra horního. Také konstrukční řešení mělo jistá pravidla, například žádný vnitřní prostor nesměl mít rozpětí stropu větší než čtyři metry. Větší prostor se rozděloval železobetonovými stěnami procházejícími až na základovou desku, které obvykle oddělovaly střelecké místnosti od ostatních prostor srubu. Jejich tloušťka byla pevně dána – 800 mm u odolností 1 a 2, a 1000 mm u odolností I až IV.

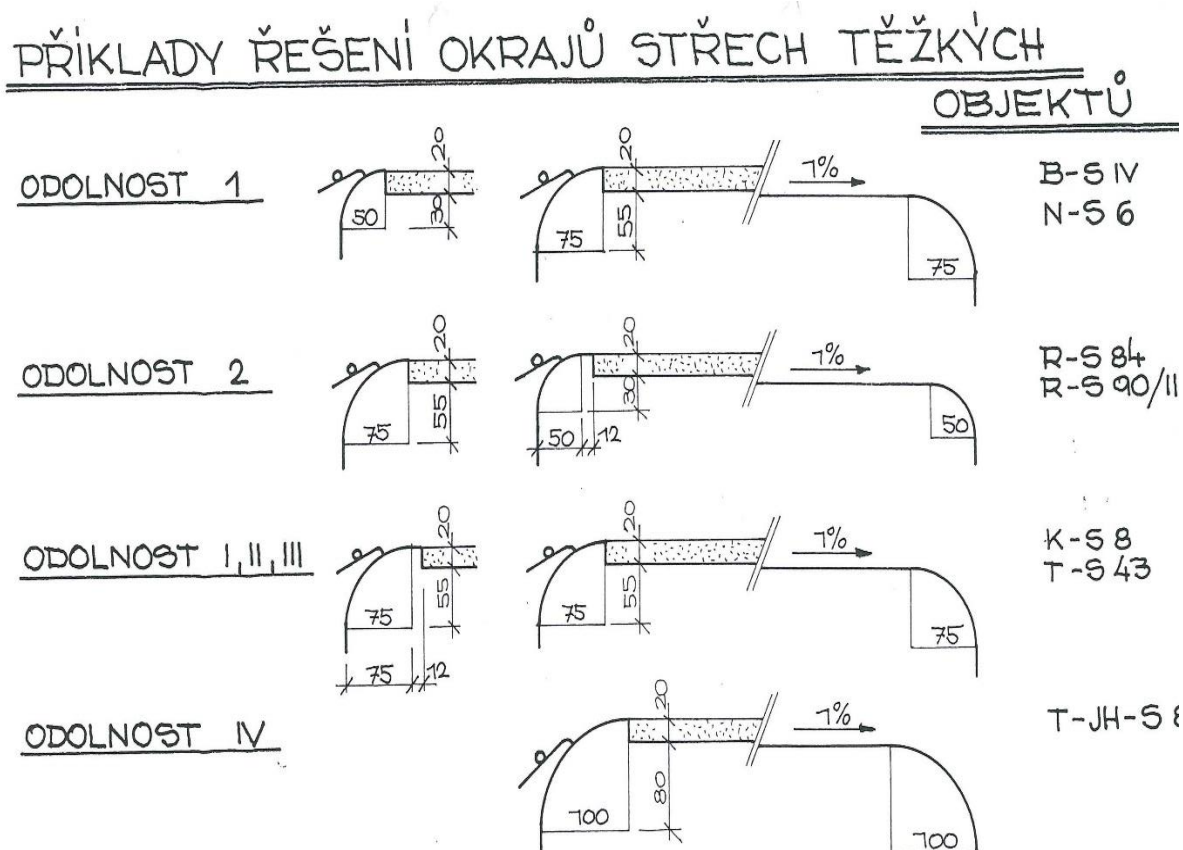
Nejprve ŽSV provedlo měřičské práce a zpracovalo tzv. povšechný plán objektu neboli N-plán, který obsahoval půdorysy a řezy v měřítku 1:100, situaci s překážkami v měřítku 1:500 a všechny potřebné výpočty. Poté byl objekt v terénu vykolikován. Pokud byl schválen, přikročilo se k tvorbě podrobného P-plánu, také v měřítku 1:100. Z těchto plánů se následně zhotovily PO-plány neboli polírní plány, které už byly v měřítku 1:50 a sloužily jako prováděcí dokumentace pro stavební firmy. V zájmu utajení byla přesně stanovena manipulace s plány, počet kopií, jejich uložení a další podmínky. [5]



### 2.3.1. Izolační systémy těžkých objektů

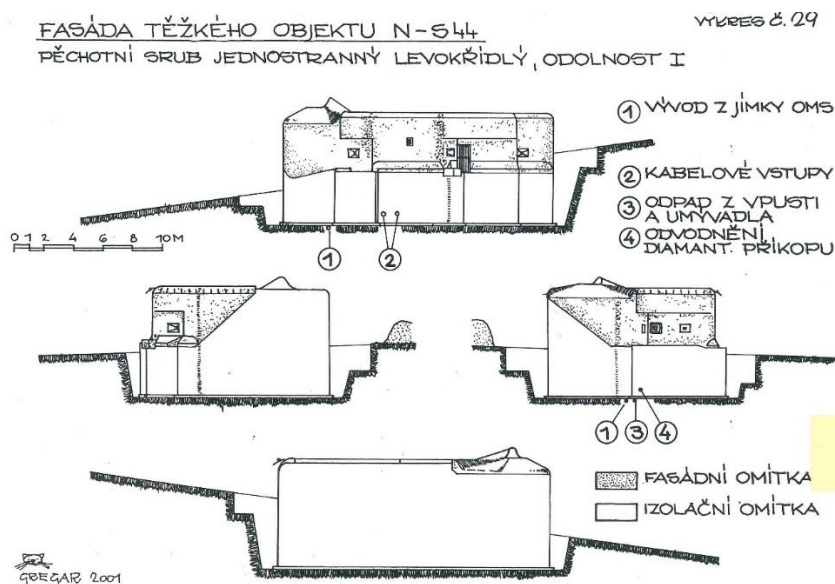
Mezi úpravy projektů patřily i izolační práce na střechách, kterým původně nebyla věnována pozornost. Povrch střechy byl dodatečně vyspádován betonovou mazaninou ve spádu 1% a izolaci tvořily pouze dva asfaltové nátěry, u kterých nebyla určena kvalita ani požadavek na případnou penetraci. Střechy nebyly opatřeny vrstvou zeminy.

Pěchotní srub měl střechu rovnou nebo lomenou podélně či ve spádu, příčné lomení bylo vzácné. Příčný sklon se rovnal 1% s podmínkou, že v nejslabším místě stropní desky musela být dodržena minimální tloušťka dle stupně odolnosti (Tabulka 2). Okraj střechy byl opatřen zastávkou, která byla tvarově uzpůsobena dle stupně odolnosti a technologie pokládky izolace (Obrázek 5). Obecně byly střechy izolovány dvěma pásy lepenky a třemi nátěry přírodním vysoce kvalitním asfaltem. [4]



Obrázek 5: Okraje střech dle stupně odolnosti objektů [4]

Svislé plochy objektu, které byly ve styku se zeminou nebo kamennou rovinaninou byly opatřovány cementovou omítkou s izolační přísadou. Ostatní plochy byly pokryty pouze fasádní cementovou omítkou (Obrázek 6).



Obrázek 6: Plošné rozdělení fasád na těžkém objektu [4]

Pro snížení tlaku vody na obvodové konstrukce se využívalo drenáže, která umožňovala snadnější a rychlejší odvod vody a minimalizování jejího působení na konstrukci. Rozšířená základová spára kolem objektu byla vypádována ve sklonu 2 - 5% směrem od objektu a 1 – 2% k odvodu vody. Prostor nad základovou spárou, kolem obvodových stěn vyplněný lomovým kamenem velikosti 50–300 mm byl nazýván kamenným záhozem nebo kamennou rovnaninou. Funkce záhozu byla nejen drenážní, ale omezovala i rychlost dopadajících střel na konstrukci objektu a svou pórovitostí snižovala účinek exploze.

Zához se v horní části utěšňoval šotolinou, aby se vrstva ornice tloušťky 200 mm nepropadala do drenážní vrstvy z kamene a nezanášela jí. Stěny diamantových příkopů se za obvodové stěny nepovažovaly, zde se zához nezřizoval. Šířka rovnaniny se řídila odolností objektu, dělila se do dvou úrovní, náročnější byla pro odolnost II, III, IV a mírnější požadavky pro odolnost I, 1, 2. Druhým kritériem bylo umístění vůči stěnám objektu. V rostlém terénu u zadní stěny měla rovnanina šířku 800 mm a u bočních a čelních stěn mezi 1500–2000 mm.

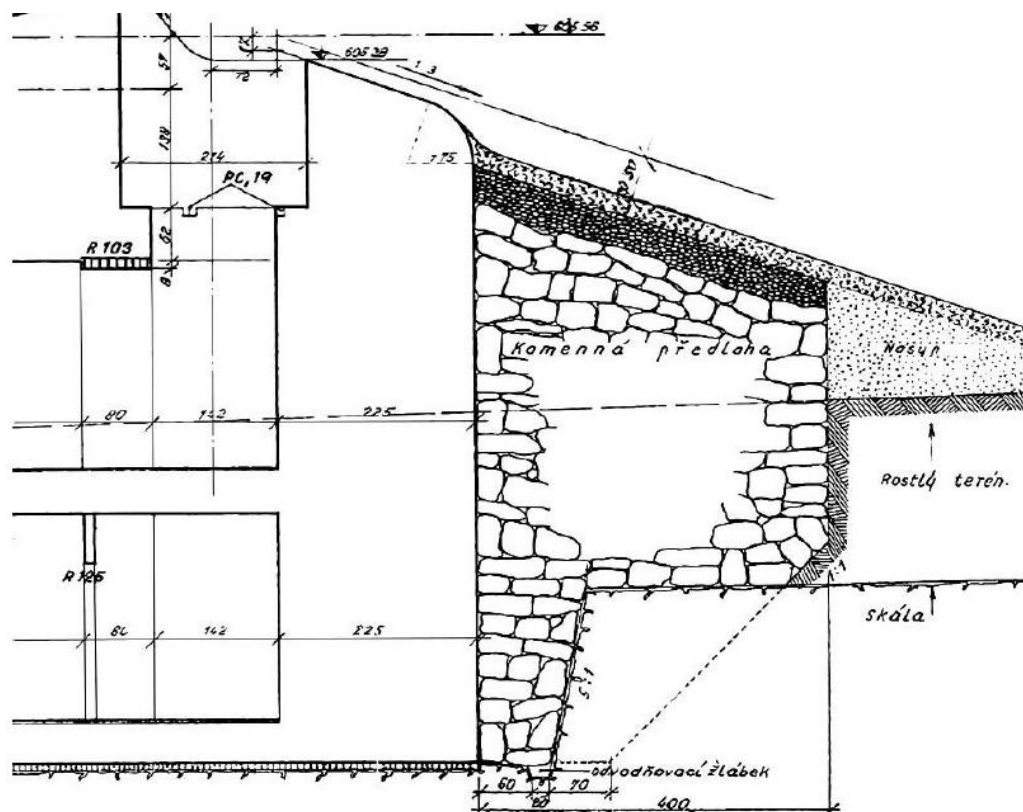


Tabulka 2: Odolnosti těžkých objektů a síla stěn v cm [6]

ODOLNOST*	1	2	I	II	III	IV
Stropní desky	100	100	150	200	250	350
Čelní stěna	120	175	175	225	275	350
Ostatní stěny horního patra	80	80	100	100	125	150
Týlová stěna dolního patra	80	120	125	150	175	200
Kamenná rovnanina	300	300	300	400	400	400

\* Arabské číslice označují odolnost u objektů v lesích a horách, římské značení se řídí důležitostí obrany.

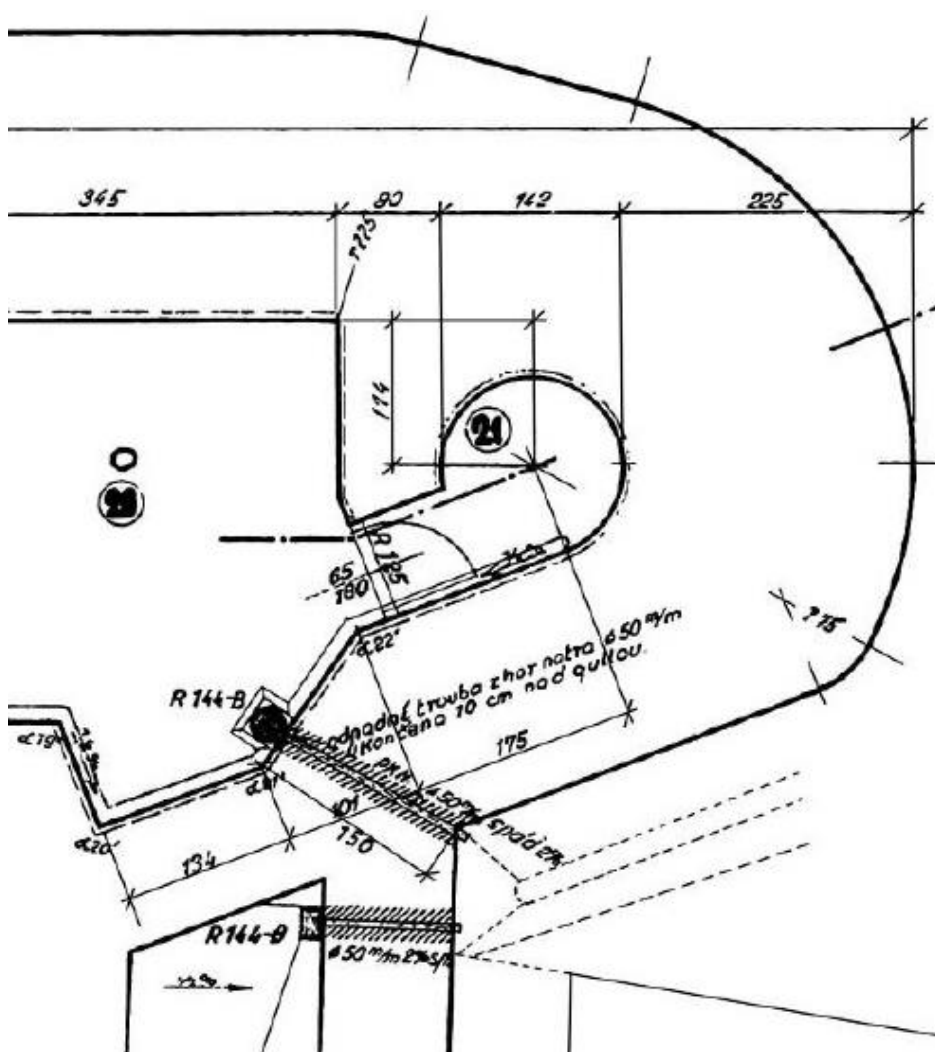
Vyspádování stěny stavební jámy bylo v poměru 1:1. Od úrovně rostlého terénu výše byla šířka rovnaniny mezi 3000–4000 mm. Spodní část rovnaniny byla vyskládána z větších kamenů, na přechodu příčného spádu od objektu a stěny výkopu je žlábek s hloubkou mezi 50–200 mm zakrytý plochými kameny (Obrázek 7). [7]



Obrázek 7: Výřez výkresu TO – možný tvar výkopu [7]

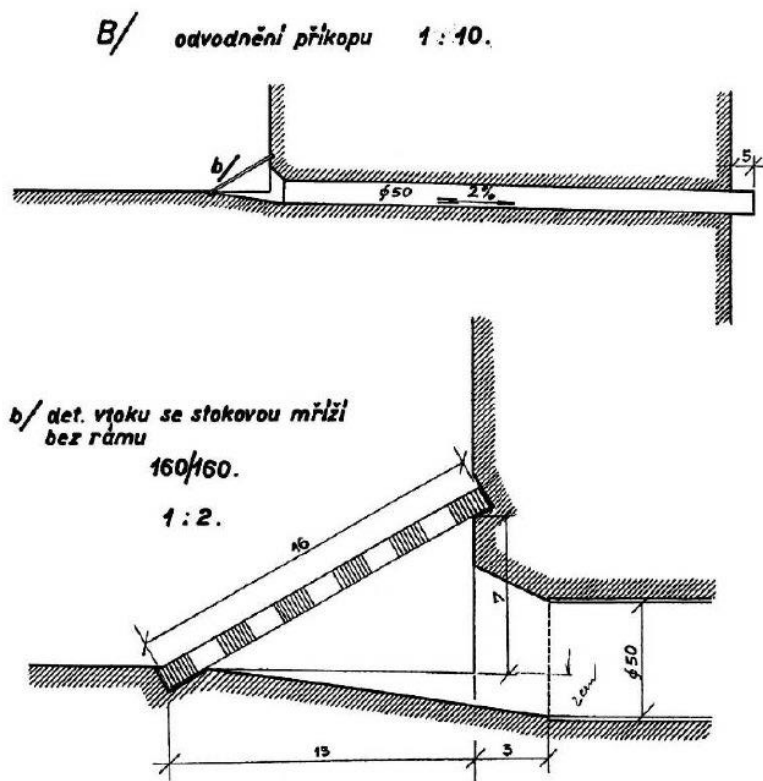


V místech, kde rovinanina nebyla, se výkop zasypával pouze zeminou. Jednalo se zejména o prostor před diamantovými příkopy, do těchto úseků se položilo drenážní potrubí o průměru 100 mm z pálených, kameninových nebo betonových trub. Okolí potrubí bylo obsypáno tenkou vrstvou šterkopísku. Do příkopů neměla prosakovat voda, z toho důvodu byly pokryty vodoizolační omítkou. Příkopy byly částečně kryty krakorci, přesto se při dešti rychle plnily vodou a bylo nutné je odvodnit. K tomuto účelu sloužily litinové nebo ocelové trubky průměru 50 mm se spádem 2% z příkopu do rovinaniny. Vtok uvnitř příkopu byl kryt stokovou mříží, vnější konec přesahoval tloušťku konstrukce o 50 mm (Obrázek 8), (Obrázek 9).



Obrázek 8: Výřez výkresu, odvodnění diamantového příkopu [7]





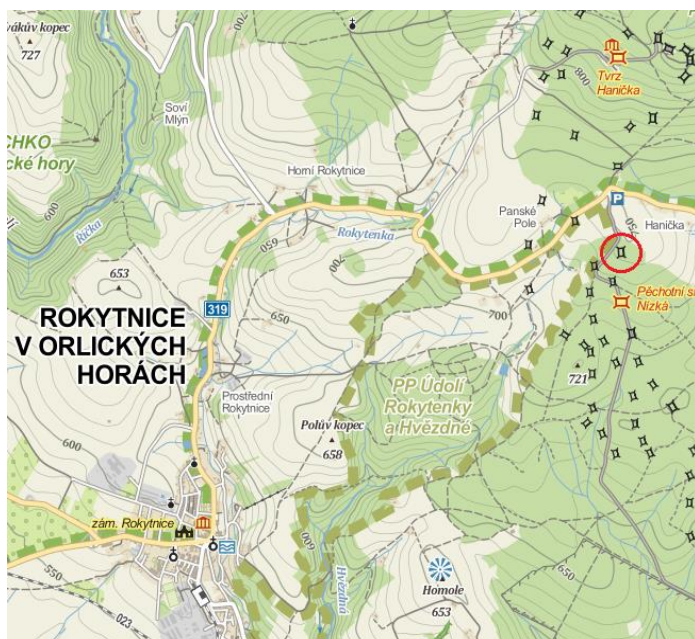
Obrázek 9: Detail vtoku v diamantovém příkopu [7]

Pro odvod vody z interiéru sloužily odvodňovací kanálky, ústící vně objektu, vždy dva v každém patře. Jeden v každém křídle, blízko krycí střílny. Voda se ke kanálkům sváděla žlábků umístěnými podél stěn. Šířka žlábků byla asi 100 mm, svažovaly se pod spádem 3–5‰ a u kanálků měly mít hloubku 40 mm. Podlaha byla svažována k postranním žlábkům. Podlahu tvořil cementový potěr tloušťky 40–50 mm, který se nanášel až po vyzdění příček a mohl se dle potřeby svažovat. Kanálek měl průměr 180 mm a stejnou výšku, vše bylo vyrobeno z litiny. Skrz stěnu opět vedly ocelové nebo litinové trubky s přesahem 50 mm, v dolních patrech do rovnaniny a v horních často do ochranného příkopu. Od roku 1937 došlo k novému řešení svodu z horního patra, důvodem byla obava z promáčení stěny příkopu odkapávající vodou. Řešením bylo svedení odtoku svisle níže, až k odtoku z dolního patra. Všechny odtoky byly vybaveny zápachovými uzávěry. [7]



### 3. Pěchotní srub R-74

Zkoumaný objekt se nachází v Rokytnici v Orlických horách, nedaleko známé tvrze Hanička (Obrázek 10). Je známý pod příviskem „Na Holém“. Nynějším vlastníkem je Klub vojenství a historie Praha. Klub spravuje objekt jako svou branně-historickou základnu od roku 1983, kdy jej souvisle opravuje a vybavuje potřebným zařízením. [9]



Obrázek 10: Poloha Pěchotního srubu R 74 [8]



Obrázek 11: Snímek pěchotního srubu R 74, 1940 (archiv Ing. Jana Škody)



### 3.1.1. Výstavba

Výstavba těžkého opevnění se v této oblasti započala 1. dubna 1937 vznikem žejnějního skupinového velitelství (ŽSV), které získalo označení X. Budování probíhalo v letech 1937–38. Celkový stav vojenského stavebního personálu tvořil 89 osob, na stavební práce se však vypisovala soutěž. Stavební zadání se vždy týkalo pouze konkrétního podúseku, který obsahoval 8–10 objektů. Srub R 74 se nachází ve druhém podúseku – Kunvald, ten čítal 10 objektů, zadávací částka činila 5 522 910,80 Kč a lhůta na dokončení prací byla stanovena na 200 dní – to vše se stavem 130 dělníků a 12 úředníků stavební firmy.

Stavební práce obsahovaly betonáž, osazování zvonů a kopulí, hloubení studní a instalace v objektech. Osazování pancéřových zvonů bylo mimořádně složitým úkolem, který zajišťovalo přímo ŽSV opět s početnou jednotkou pracovníků. Instalace v objektech zajišťovaly specializované firmy, které musely projít soutěží, jednalo se o ventilace, elektroinstalace a vodoinstalace s dodáním čerpadel do studní.

Betonáž probíhala jen devět dní a to v době od 1. – 9. 12. 1937, spotřebovalo se při ní 1725 m<sup>3</sup> betonu. Tloušťky stěn a stropních desek se odvíjely od potřebné odolnosti, která byla ovlivněná polohou objektu.

Tabulka 2 obsahuje tloušťky jednotlivých stavebních prvků v závislosti na stupni odolnosti objektu. Arabské číslice označují odolnost u objektů v lesích a horách, římské značení se řídí důležitostí obrany. Srub R 74 je izolovaný a v blízkosti tvrže Hanička, má tedy III. stupeň odolnosti. Odolnost IV. se používala výhradně u dělostřeleckých tvrží. Pro konstrukce platí tyto rozměry, strop je silný 250 cm, čelní zeď směrem k nepříteli síly 275 cm a ostatní zdi 125 cm železobetonu. Čelní zeď je navíc krytá kamennou rovnatinou o síle 400 cm.

Při stavbě tohoto objektu byla betonová zavlhlá směs zpracována velmi přesně, na jeden m<sup>3</sup> hotového betonu bylo použito toto složení:

Labský písek 0–10 mm	400 litrů
Litický štěrk 20–40 mm	320 litrů
Litický štěrk 40–60 mm	630 litrů
Maloměřický cement	400 kg
Voda z potoka	80 litrů



Další podmínkou výstavby bylo kontrolovat pevnost betonu. Musely se odebírat zkušební vzorky. Nejméně jednou denně odebrat 3 zkušební kostky rozměrů  $20 \times 20 \times 20$  cm, které byly po 28 dnech tvrdnutí podrobeny tlakovým zkouškám ke zjištění krychelné pevnosti. Zkoušky se prováděly ve Výzkumném a zkušebním ústavu hmot a konstrukcí stavebních při ČVUT v Praze-Dejvicích, vedený prof. Ing. Františkem Kloknerem. Předepsaná minimální krychelná pevnost ze strany Ředitelství opevňovacích prací (ŘOP) byla  $450 \text{ kg/cm}^2$ .<sup>1</sup> Ze zkoušek na 500 tunovém Amstlerově přístroji vyplývá průměrná hodnota  $556,5 \text{ kg/cm}^2$ , požadovaná krychelná pevnost byla tedy podstatně překročena.

Později bylo zjištěno, že izolace střechy objektu nebyla provedena dostatečně pečlivě a do objektu z tohoto důvodu zatéká. Stavební firma musela na vlastní náklady odstranit vrchní betonový potěr, obnovit izolaci a střechu znovu přebetonovat. Na dobových fotografiích je dobře patrná jiná omítka v horní části střechy (Obrázek 11). I přes dodatečné práce se patrně nepodařilo závadu odstranit a do objektu zatéká dodnes. Nalezení příčiny a návrh řešení problému zatékání je cílem této práce.

Vedle betonových částí jsou v objektu umístěny také kovové prvky – pomocná kulometná střílna, vchodová střílna a pěchotní zvony, pravý a levý. Zvony mají stěny o síle 30 cm, a každý z nich váží 39,7 tun. Osazení probíhalo až v květnu 1938 a postup byl, jak již bylo zmíněno, velmi náročný. Podle výpisu z osazovacího deníku trvala práce jeden měsíc. Od založení bubnového zdvihadla na čtyřech pilotách, montáže čtyř kladkostrojů, čtyřech koček, jednoho nosníku, přes přivezení zvonů a jejich usazení, až po převoz všech zdvižných prvků na další staveniště. V červnu a červenci pak probíhaly dokončovací práce a montáž zdroje energie. [6]

### 3.1.2. Popis objektu

Vchod do objektu je ukrytý na týlové straně srubu pod mohutným krakorcem. Krakorec je převislá železobetonová konstrukce stropu nad vchodem a střílnami. Tento prvek chránil zranitelná místa srubu před účinkem střel se strmou dráhou letu nebo dopadem náloží spouštěných se střechy. [5] Přiblížení ke vchodu zabraňovaly dvě týlní střílny,

---

<sup>1</sup> V textu jsou ponechány fyzikální jednotky a názvosloví používané v době výstavby. V tomto případě udávané ČSN 1093–1935 Kontrola stavebních prací. Požadovaná hodnota pevnosti  $450 \text{ kg/cm}^2$ , tedy 45 MPa, v současnosti by teoreticky odpovídal beton C35/45.



vlevo a vpravo od vchodu. Další ochranu hluchých míst u týlové stěny poskytoval granátový skluz plněný z levé střelecké místnosti. Pod vyústěním skluzu leží mohutný kvádr, který přiváděl dopadající granáty k výbuchu. Pro pozorování týlního prostoru sloužil periskop. (prvky jsou zakresleny a popsány v půdorysu 1. NP)

Na pravé i levé straně od vchodu je viditelné vyústění odsávacího potrubí, překryté masivními mřížemi. Potrubí odvádělo z pancéřových zvonů (č.1.8.; č.1.10.) a ze střeleckých místností neboli kasemat spaliny vzniklé střelbou (č.1.4.; č.1.11.). Odvádělo také výfukové plyny z dieselaagregátu a bylo vyústěním odsávání z WC, mřížka je viditelná, ze západního pohledu.

Po obou bočních stranách jsou střelecké místnosti kryté krakorci. Dalším ochranným prvkem jsou tzv.: diamantové nebo ochranné příkopy (č.-1.8.; -1.14.). Bránily přístupu ke střílnám, jsou 1,6 m široké a 3,5 m hluboké. Kromě této funkce do nich vedlo vyústění odvodů prázdných nábojnic od hlavních zbraní, kryté ocelovou klapkou. Také pojímaly vystřelovanou zeminu při explozích a tím zabraňovaly jejich zavalení. Do obou příkopů také ústí granátové skluzy a otvory periskopů. (prvky jsou zakresleny a popsány v půdorysu 1. NP)

Čelní a nejsilnější zeď obrácená k nepříteli je chráněná kamennou rovnaninou a zemním záhozem a na obou stranách je zakončena ochrannými křídly. Z křídel ze stropní části vyčnívají pancéřové zvony, v jejichž temenech jsou umístěny periskopy. Pancéřový zvon je spojen s ocelovým prutem a armaturou, spojení tvoří uzemnění při zásahu bleskem. Po celém obvodu srubu v horní zaoblené části vystupuje zakroucená armatura, která sloužila k uchycení maskovacích sítí.

Vstup do objektu je zabezpečen mříží, na kterou je namířena další střílna chránící vstup. Vstupní chodba (č.1.1.) je natřena tmavým nátěrem, aby splývala s objektem a nevytvářela světlý cíl. Chodba je dvojitě zalomená, aby bylo zabráněno přímému postřelování vstupu. Následuje protiplynová předsíň (č.1.2.) oddělená z obou stran pancéřovými dveřmi. První dveře jsou zevnitř vzepřeny ve své polovině záporou, která zabraňuje prohnutí dveří vlivem výbuchu. Pokud by i přesto došlo ke zkřížení dveří, je v jejich dolní části nouzový průlezový otvor. Za druhými dveřmi se už nachází hlavní chodba s šířkou 800 mm. Směrem vpravo po levé straně je nynější kuchyně (č.1.9.), původně zde byla ubytovací místnost pro dva poddůstojníky. Proti bývalé ubytovně je vstup do pravé střelecké místnosti (č.1.11.), podlaha je ve všech kasematech zvýšená o 150 mm, pro lepší výhled střelce. Boční stěna s kanony je obložena ocelovými pláty, je jimi pokryt i strop.



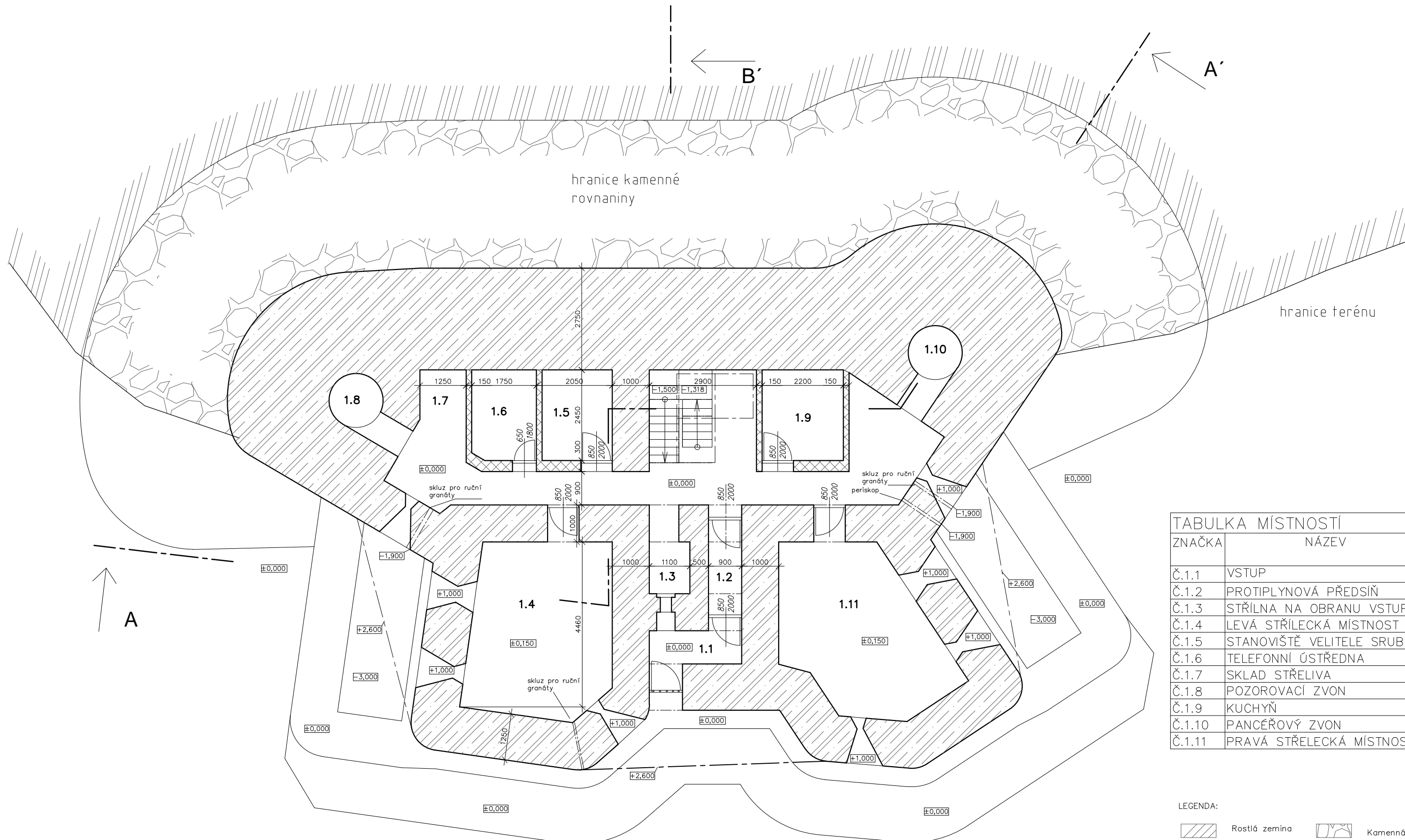
Obložení sloužilo k ochraně střelce, aby při postřelování nedošlo vlivem rázu k odloupenutí betonu z vnitřní strany. Pravá strana srubu je zakončena pomocnou střílnou a vchodem do pancéřového zvonu (č.1.10.). Zvon byl dostupný ze žebříku, který vedl podél stěny na ocelovou podlážku, kde působil pozorovatel s periskopem a střelec.

Levá polovina srubu obsahuje identickou střeleckou místnost (č.1.4.). Naproti této kasematě leží dvě místnosti – vpravo stanoviště velitele srubu (č.1.5.) a vlevo telefonní ústředna (č.1.6.) s lůžkem telefonisty. Místnosti byly navzájem propojeny oknem se zasouvací okenicí pro předávání zpráv. Nyní jsou v obou místnostech lůžka pro návštěvníky. Levá část byla opět zakončena krycí střílnou a pancéřovým zvonem jako na pravé straně objektu. Navíc byl na této straně umístěn petrolejový vaříč pro nouzové ohřívání stravy pro posádku (č.1.7.), dnes je zde skladováno střelivo.

Dolů se dá sejít po dvouramenném schodišti s podestou rozdělenou na dvě výškové úrovně. Spodní patro se nachází o 3 m níže. Vpravo od schodiště leží umývárna (č.-1.2.), dříve zde byly dvě splachovací toalety, které byly používány jen při bojovém nasazení. Dnes je koupelna zrekonstruována – nachází se zde sprchový kout, WC a umyvadlo. Původní septik byl nahrazen biologickou čistírnou odpadní vody. Pro komfort nynějších návštěvníků je koupelna vybavena zásobníkovým ohříváčem vody a koupelnovým žebříkem. Naproti umývárně je vchod do hlavní ubytovny mužstva (č.-1.13.) se šesti dvoupatrovými palandami. Počet lůžek se navrhoval vždy poloviční, než byl počet mužů – na lůžku se vojáci střídali.

Vlevo od schodiště bylo ve velké místnosti soustředěno technické zázemí (č.-1.6.), vpravo za dveřmi byl umístěn hlavní ventilátor. Zvenku nasával čerstvý vzduch, který byl zvlhčován, případně filtrován přes protichemické a protikouřové filtry. V místnosti byl také umístěn dieselagregát, který ve spojení s generátorem vyráběl potřebný elektrický proud pro osvětlení a pohon strojů. Byl používán jen v boji, obvykle se tedy svítilo petrolejovými lampami. Agregát byl jediným zdrojem elektrické energie, dnes je již srub připojen na vnější síť, ale dieselagregát je stále plně funkční.

Do poslední části dolního patra se vstupuje dveřmi proti schodišti. Jedná se o skladovací část – po pravé straně (č.-1.9.) byly uloženy pohonné hmoty pro agregát, ve vedlejší místnosti (č.-1.10.) byly uskladněny zásoby potravin na 14 dní. V malé místnosti (č.-1.11.) bylo stanoviště telegrafie i s lůžkem telegrafisty. Poslední místnost (č.-1.12.) se studnou sloužila jako ubytovna pro tři poddůstojníky a jednoho vojína. Dnes



hranice kamenné rovnaniny

hranice terénu

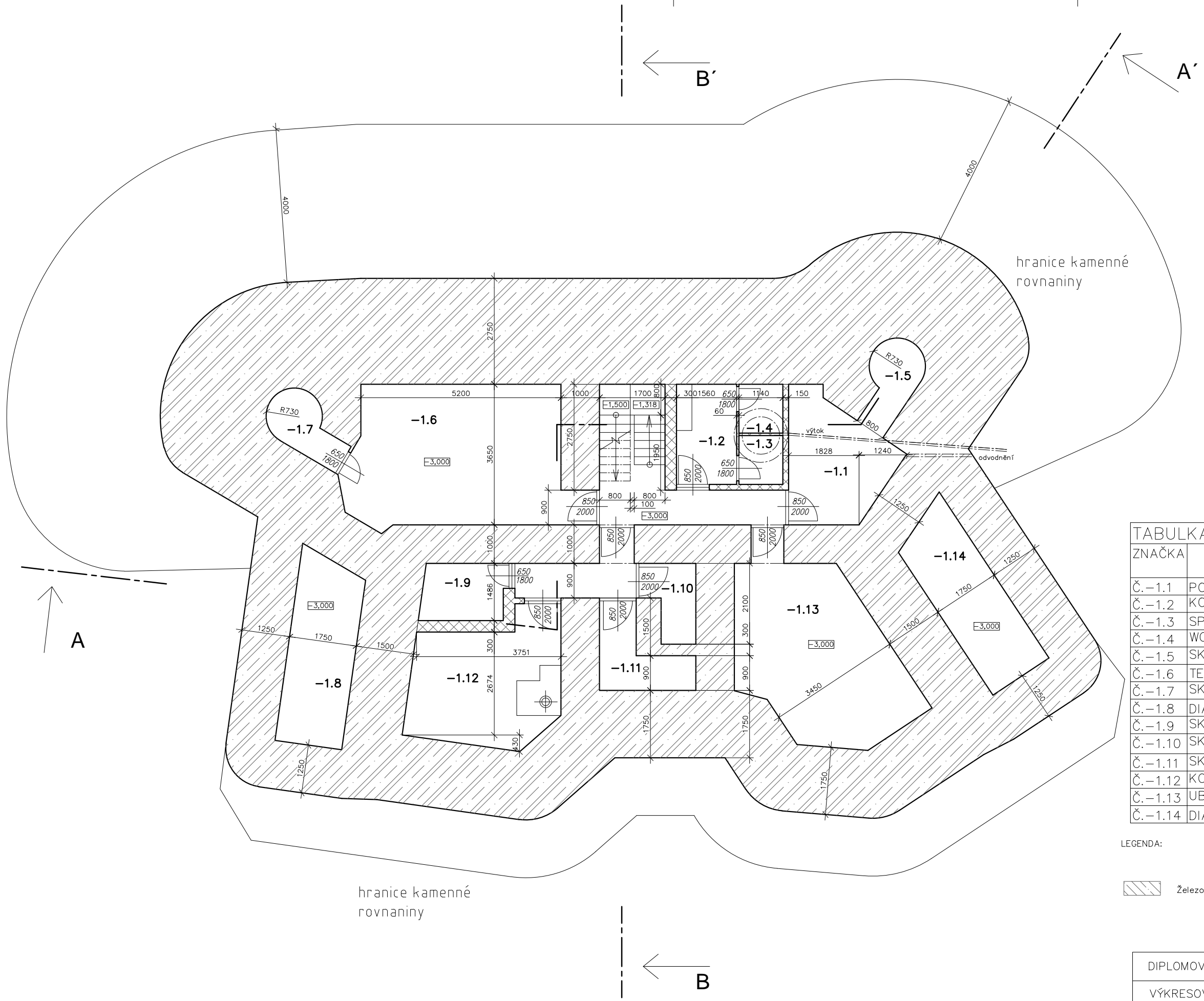
TABULKA MÍSTNOSTÍ		
ZNAČKA	NÁZEV	PLOCHA [m <sup>2</sup> ]
Č.1.1	VSTUP	2,3
Č.1.2	PROTIPLYNOVÁ PŘEDSÍŇ	2,3
Č.1.3	STŘÍLNA NA OBRANU VSTUPU	1,4
Č.1.4	LEVÁ STŘELECKÁ MÍSTNOST	17,6
Č.1.5	STANOVIŠTĚ VELITELE SRUBU	4,6
Č.1.6	TELEFONNÍ ÚSTŘEDNA	4,3
Č.1.7	SKLAD STŘELIVA	2,4
Č.1.8	POZOROVACÍ ZVON	0,6
Č.1.9	KUCHYŇ	5,3
Č.1.10	PANCÉŘOVÝ ZVON	0,6
Č.1.11	PRAVÁ STŘELECKÁ MÍSTNOST	17,4

LEGENDA:

	Rostlá zemina		Kamenná rovnanina
	Železobeton		Cihla plná 300x150x70 Vápennocementová malta

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	Č.1.
PŮDORYS 1. NP	1:100



hranice kamenné rovnaniny



**TABULKA MÍSTNOSTÍ**

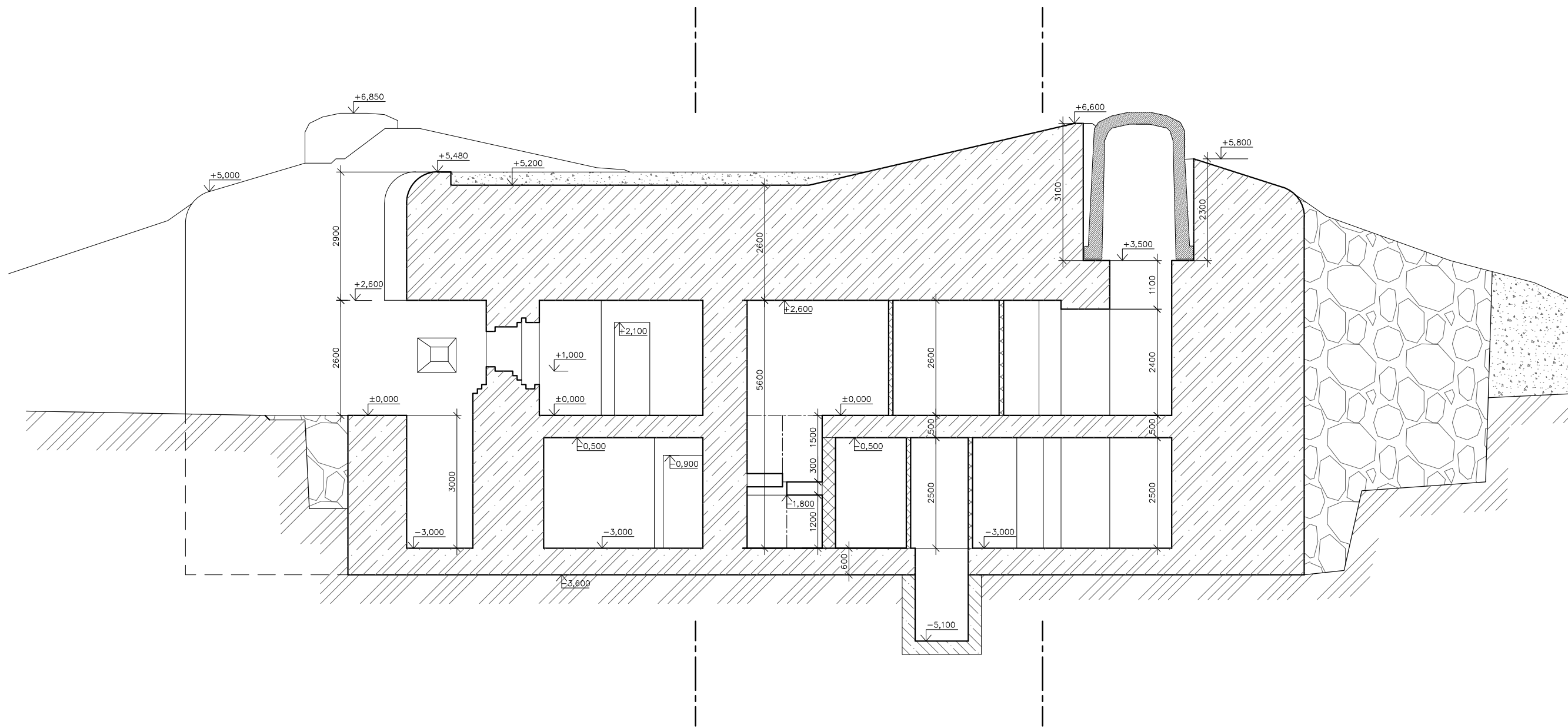
ZNAČKA	NÁZEV	PLOCHA [m <sup>2</sup> ]
Č.-1.1	PODDŮSTOJNICKÁ UBIKACE	2,3
Č.-1.2	KOUPELNA	3,8
Č.-1.3	SPRCHOVÝ KOUT	1,4
Č.-1.4	WC	1,4
Č.-1.5	SKLAD POD ZVONEM	1,0
Č.-1.6	TECHNICKÁ MÍSTNOST	19,9
Č.-1.7	SKLAD	1,0
Č.-1.8	DIAMANTOVÝ PŘÍKOP	8,4
Č.-1.9	SKLAD	3,2
Č.-1.10	SKLAD	2,5
Č.-1.11	SKLAD	3,5
Č.-1.12	KOTELNA	11,7
Č.-1.13	UBIKACE	17,4
Č.-1.14	DIAMANTOVÝ PŘÍKOP	8,4

LEGENDA:








 Železobeton     
  Cihla plná 300x150x70  
 Vápencementová malta

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	Č.2.
PŮDORYS 1. PP	1:100

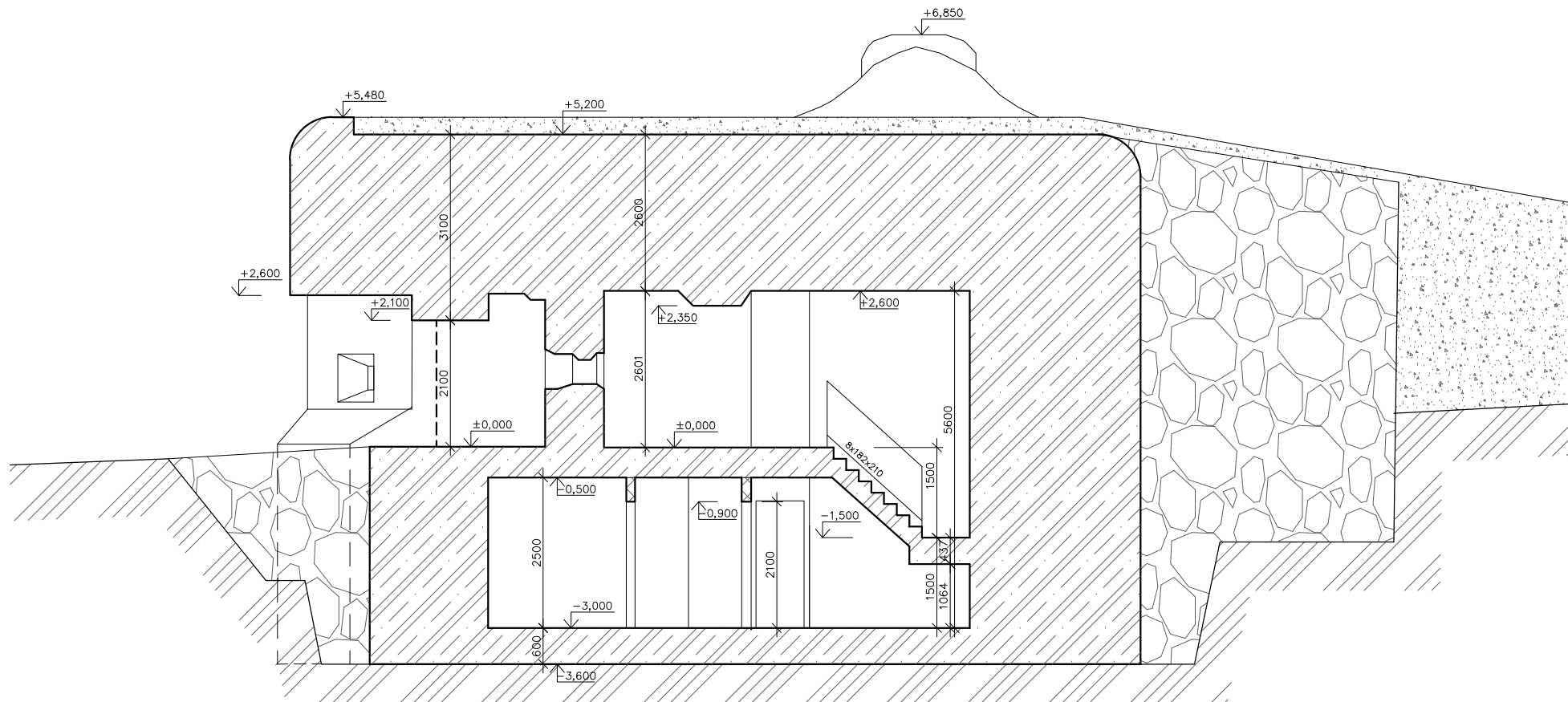









LEGENDA:

	Rostlá zemina		Kamenná rovnanina
	Železobeton		Cihla plná 300x150x70
	Násyp zeminy		Vápno-cementová malta
			Ocelolitina

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	Č. 3.
ŘEZ A A'	1:100



LEGENDA:

- |   |               |   |   |
|---|---------------|---|---|
|  | Rostlá zemina |  | Kamenná rovnánina                             |
|  | Železobetón   |  | Cihla plná 300x150x70<br>Vápencementová malta |
|  | Násyp zeminy  |   |   |

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	Č. 4.
ŘEZ B B'	1:100



jsou sklady využívány jen pro tuhá paliva, v bývalé ubytovně je umístěn kotel na spalování koksu, který srub vytápí. Dříve byl objekt nevytápěný. [6]

## 4. Záznam poruch způsobených vlhkostí

Vlhkost má na degradaci stavebních materiálů všestranný účinek. Účinky vlhkosti mohou být mechanické, fyzikální, chemické i biologické. Vlhkost se projevuje nejvýrazněji u porézních materiálů, ke kterým beton patří. Objemové změny se projevují v cementovém pojivu a ovlivňují mechanické vlastnosti betonu v důsledku změny povrchového napětí a kapilárních sil. Povrchové napětí může vzniknout, jak rozdílnou vlhkostí v různých místech, tak odlišným vlivem na kamenivo a na zatvrdlý cement. Nasákavost zatvrdlého cementu je vysoká a voda v něm působí fyzikální změny, které se v kamenivu tak intenzivně neprojevují. Další možnou příčinou napětí je nabývání solí uvnitř struktury betonu, které vytváří tlak. Soli nabývají na objemu spolu s postupným naplňováním kapilár a pórů vodou. [10]

Většina poruch ve zkoumaném objektu je způsobena vlhkostí, u tak masivních konstrukcí ale prozatím nemají vliv na statickou funkci. Na poruchách v exteriéru se navíc podílí vliv vnějšího prostředí. Poruchy v interiéru jsou dvojího druhu, prvním je místy odhalená výztuž a druhým jsou výkvěty (nejspíše vápenné) na stěnách. Poruchy jsou zaznamenány na fotografiích v této kapitole a jejich umístění je vyznačeno v příložených výkresech (v.č.5., v.č.6.).

Vápenné výkvěty jsou doprovodným jevem zatékání (např.: Obrázek 17, Obrázek 20). Po úspěšné sanaci by se neměly znovu tvořit. Obnažená výztuž v interiéru je spíše problémem estetickým, než konstrukčním. Fotografie výztuže ve většině případů ukazují jen roznášecí síť a ne výztuž nosnou (např.: Obrázek 13, Obrázek 15, Obrázek 26). Nosná výztuž je odhalena jen v několika místech (Obrázek 24, Obrázek 27). Důvodem odpadnutí krycí vrstvy betonu mohou být vnitřní výkvěty solí. Příčinou jsou krystalické tlaky od narůstání objemu solí. Tento jev už může závažněji narušit stavební konstrukce.

Spíše drobnou závadou v interiéru je zatékání kolem ocelových zvonů. Pro kontakt betonu a oceli v době výstavby neexistovaly prostředky pro dokonalejší řešení. Dnes by se již styk těchto dvou ploch mohl řešit pomocí značně elastických tmelů. Zvýšená



vlhkost v oblasti zvonů je také způsobena kondenzací vzdušné vlhkosti. Zvony jsou ocelové a jejich velká část je v kontaktu s exteriérem, výsledkem je nízká povrchová teplota. I z tohoto důvodu je v těchto místech velké množství výkvětů.

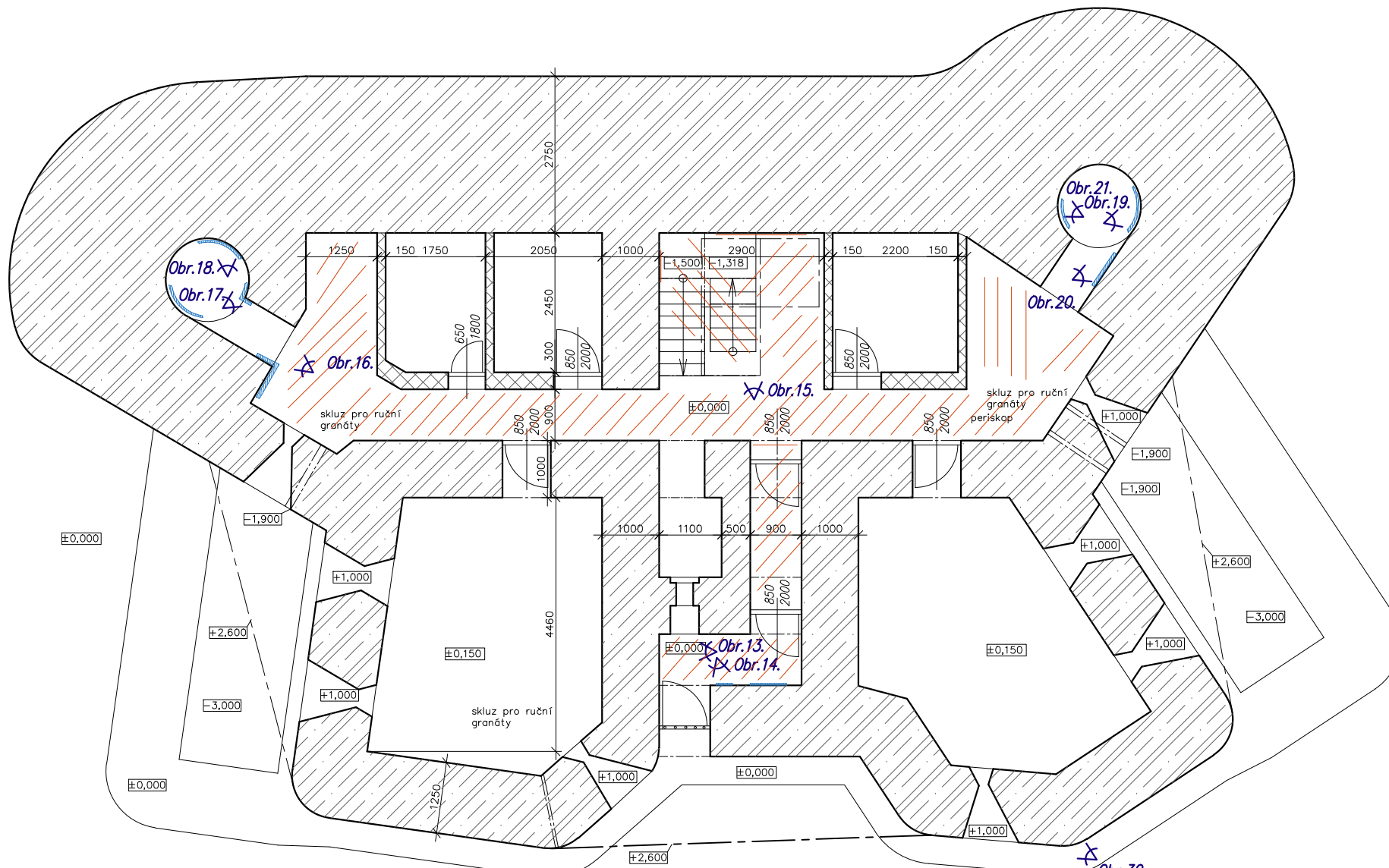
Exteriérovou poruchou jsou lokálně odpadávající části skrývkového betonu na oblině mezi svislou a vodorovnou konstrukcí (Obrázek 30). Tato místa nefungují konstrukčně dobře ze stejného důvodu jako celá plocha střechy. V původním návrhu byl natažen asfaltový pás pod betonovou skrývkou. Povrchová vrstva betonu vlivem přírodních vlivů zdegradovala již ve velmi brzy po aplikaci. Poničení střechy je zaznamenáno na historických fotografiích (Obrázek 12). Již v roce 1960 byla skrývka z povrchu hydroizolace téměř odstraněna. Střecha je v současnosti bez jakékoli hydroizolační vrstvy.

Mezi povrchové poruchy fasád také patří biologická degradace, vnější stěny jsou porostlé mechy a lišejníky. I vnější fasády pokrývají výkvěty. Další závadou je nesoudržná omítka, jedná se jen o lokální poškození, v okolní ploše je přídržnost omítky dobrá. Chybějící omítka se většinou vyskytuje v místech prasklin a trhlin. Trhliny se vyskytují převážně ve vodorovném směru a nejsou hluboké, zasahují jen do povrchové úpravy konstrukce.

Závady na fasádách jsou zakresleny v pěti pohledech na objekt s vysvětlující legendou typů poškození (Výkresy č. 5, č. 6, č. 7, č. 8).



Obrázek 12:, její Degradace nabetonávky na asf. pásech 1960 (archiv Jana Škody)



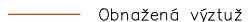
LEGENDA:



Obr.1. Odkaz na snímek poruchy, fotografie v textové části

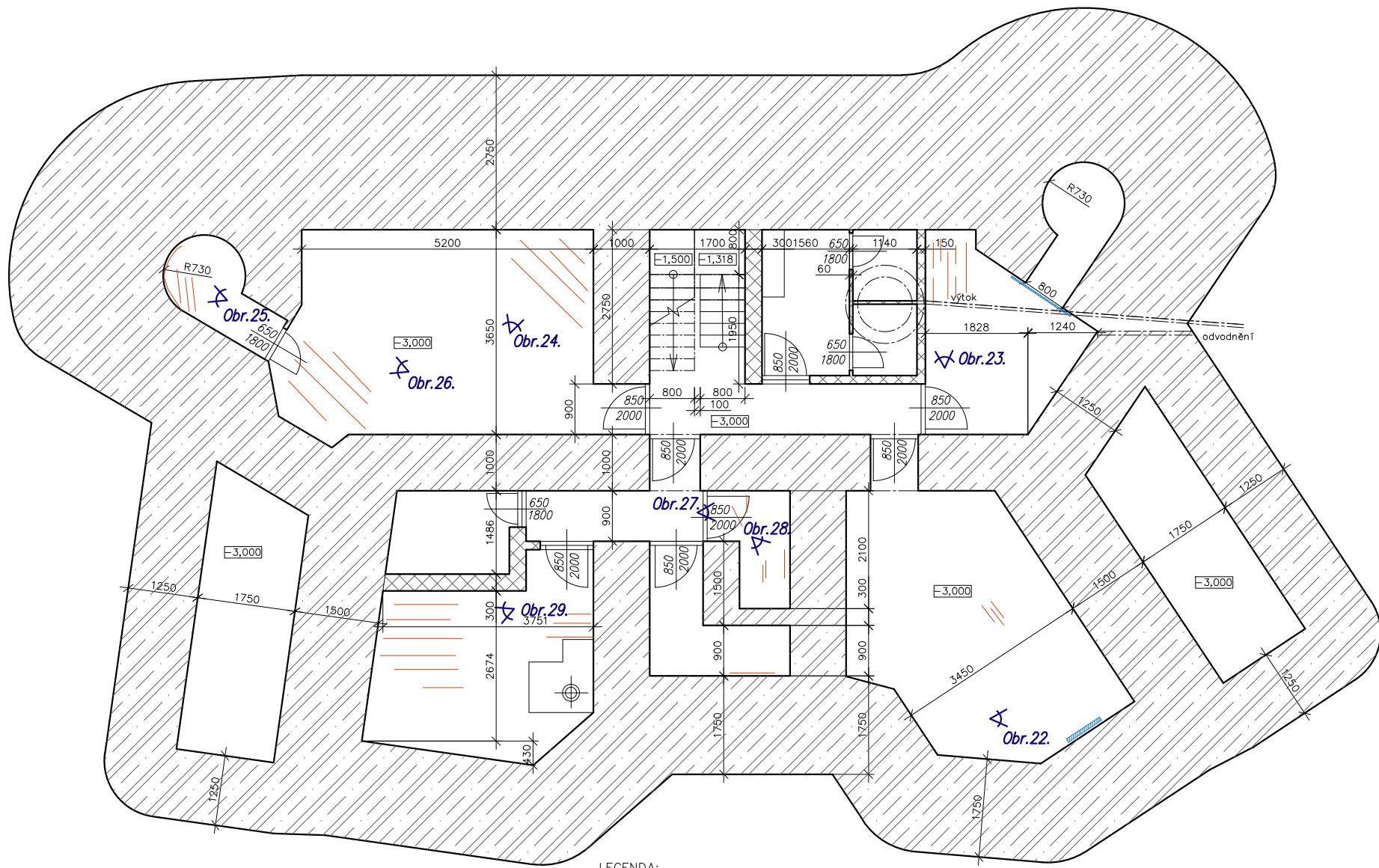


Vápenné výkvěty



Obnažená výztuž

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VYZNAČENÍ PORUCH	Č.5.
PŮDORYS 1. NP	1:100



LEGENDA:

 Obr.1.

Odkaz na snímek poruchy, fotografie v textové části

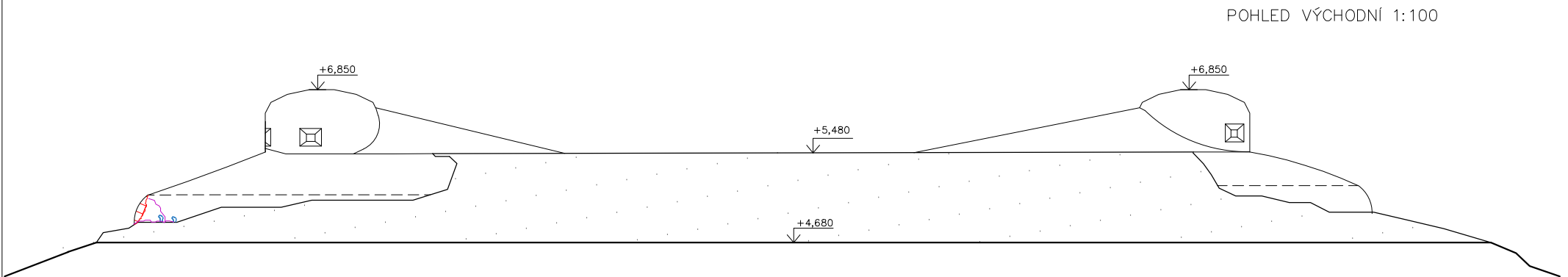
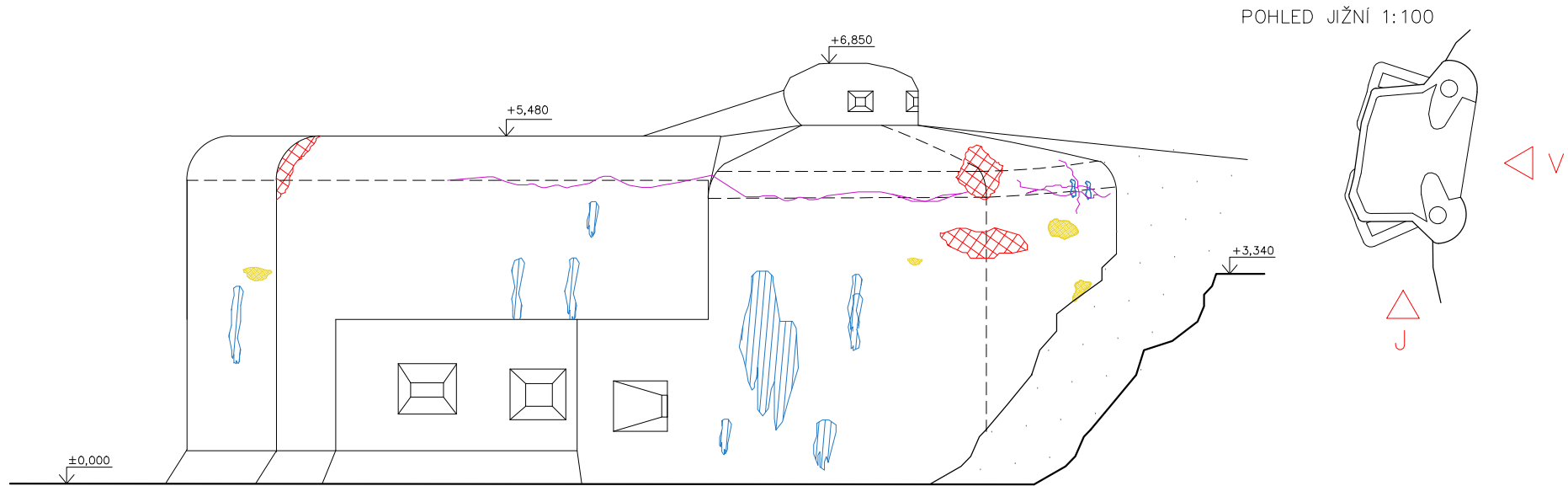


Vápenné výkvěty



Obnažená výztuž

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VYZNAČENÍ PORUCH	Č.6.
PŮDORYS 1.PP	1:100



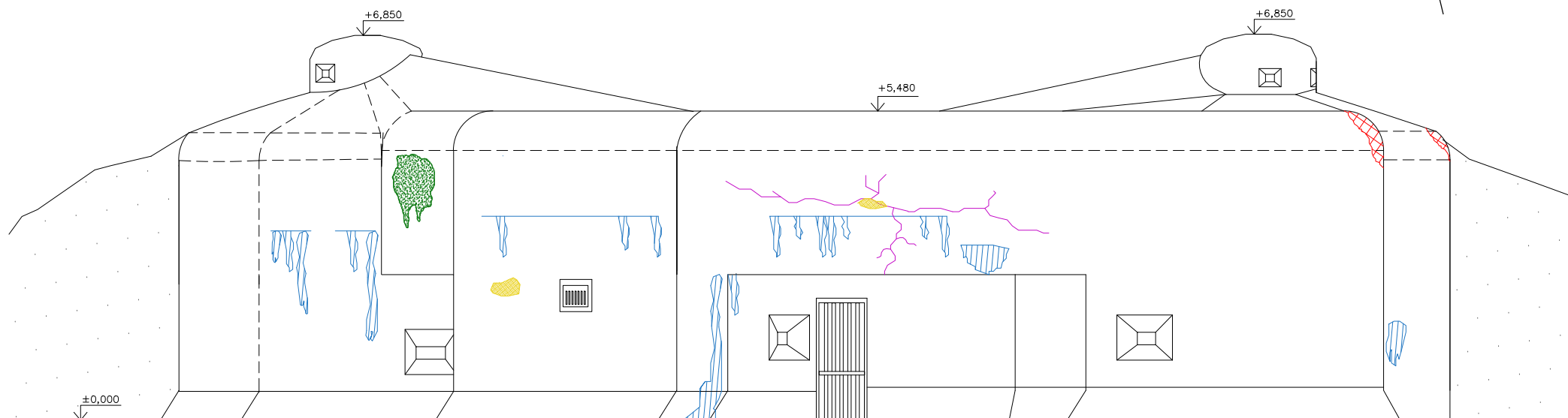
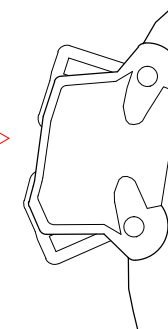
LEGENDA:

- |   |                    |  |                  |
|---|--------------------|--|------------------|
|  | Vápenné výkvěty    |  | Chybějící omítka |
|  | Chybějící beton    |  |                  |
|  | Trhliny, praskliny |  |                  |






DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VYZNAČENÍ PORUCH	Č. 7.
POHLED JIŽNÍ A VÝCHODNÍ	1:100

POHLED ZÁPADNÍ 1:100

Z ▷



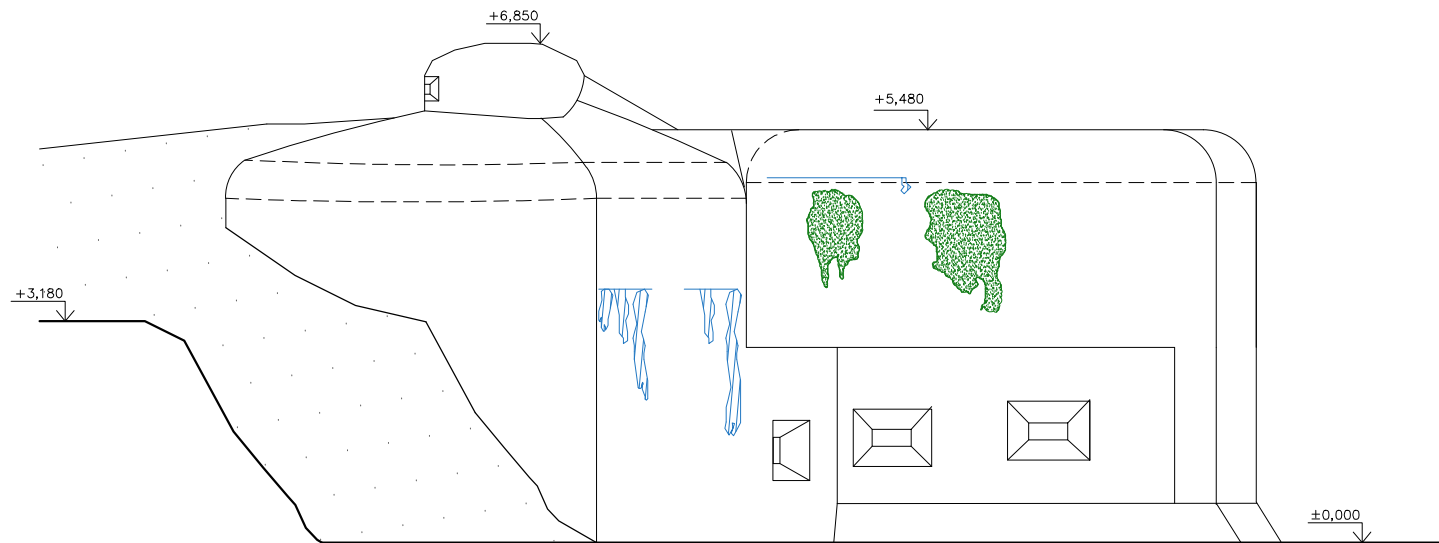
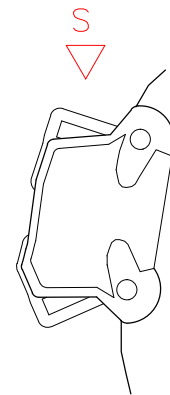
LEGENDA:

- |   |                    |  |                      |
|---|--------------------|--|----------------------|
|  | Vápenné výkvěty    |  | Chybějící omítka     |
|  | Chybějící beton    |  | Biologická degradace |
|  | Trhliny, praskliny |  |                      |

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VYZNAČENÍ PORUCH	Č.8.
POHLED ZÁPADNÍ	1:100



POHLED SEVERNÍ 1:100



LEGENDA:

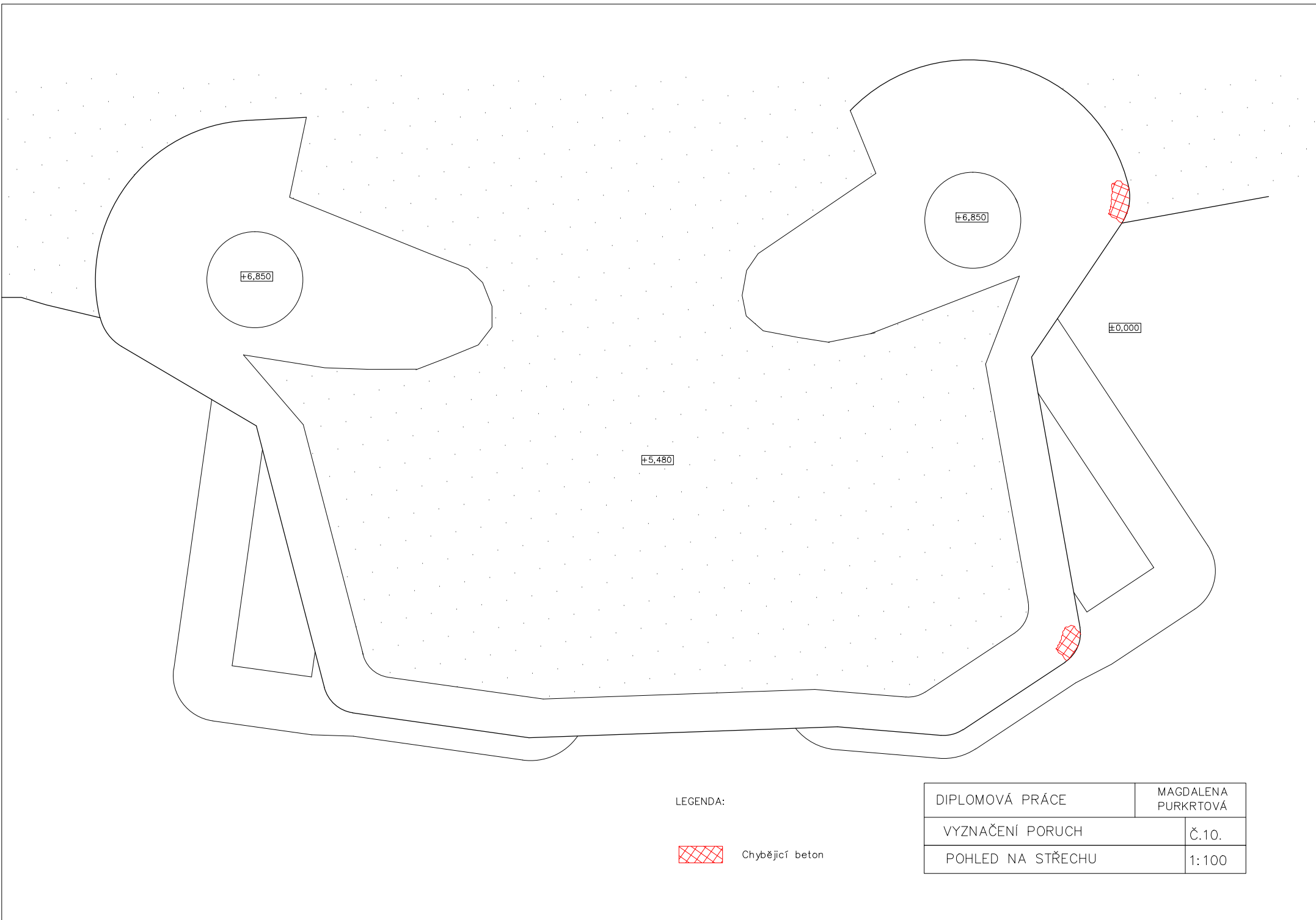


Vápenné výkvěty



Biologická degradace

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VYZNAČENÍ PORUCH	Č.9.
POHLED SEVERNÍ	1:100



LEGENDA:



Chybějící beton

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
VYZNAČENÍ PORUCH	Č.10.
POHLED NA STŘECHU	1:100



Obrázek 13: Obnažená výztuž



Obrázek 14: Vápenné výkvěty a výztuž



Obrázek 15: Obnažená výztuž



Obrázek 16: Výkvěty a obnažená výztuž



Obrázek 17: Výkvěty v pancéřovém zvonu



Obrázek 18: Výkvěty v pancéřovém zvonu





Obrázek 19: Výkvěty v pancéřovém zvonu



Obrázek 20: Výkvěty v pancéřovém zvonu



Obrázek 21: Výkvěty v pancéřovém zvonu



Obrázek 22: Výkvěty v ubikaci



Obrázek 23: Obnažená výztuž, střel. místnost



Obrázek 24: Obnažená výztuž, tech. Místnost





Obrázek 25: Obnažená výztuž, pancéřový zvon



Obrázek 26: Obnažená výztuž, tech. místnost



Obrázek 27: Obnažená výztuž sklad



Obrázek 28: Obnažená výztuž, sklad



Obrázek 29: Obnažená výztuž kotelna



Obrázek 30: Chybějící část betonu



## 5. Analýza betonu

Před rekonstrukcí betonových konstrukcí je nutné nejprve provést průzkum objektu a stanovit rozměry a kvalitu stávajících konstrukcí. Při průzkumu je dobré stanovit i stupeň karbonatce betonu a obsah chloridů, jejichž působením může být způsobena místní koroze výztuže. [10]

Koroze výztuže způsobuje narůstání jejího objemu a tím vznik trhlin v betonu. Také se snižuje průřez výztuže a tím její vypočtenou únosnost. Rychlost karbonatce závisí na kvalitě cementu, betonu a vlhkosti betonu. Karbonatci vzniklou z těchto příčin lze změřit pomocí pH konstrukce. Dalším činitelem, který startuje karbonatci v betonu jsou chloridy, kritická koncentrace  $Cl^-$  v betonu je uváděna 0,2 hmotnostních % / cement. [11]

Vliv na korozi betonu má samozřejmě i prostředí, u betonových konstrukcí je degenerace závislá na přítomnosti vody. Ideální vlhkost konstrukcí pro korozi betonu je kolem 60 % nasycení. [12]

Konstrukce v pevnostních objektech jsou velmi masivní a povrchová koroze betonu by neměla mít vliv na statickou funkci objektu, v tomto případě není rizikovým problémem.

### 5.1. Metody analýzy betonu

Analýza betonu obecně nám slouží ke zjištění potřebných vstupních parametrů, na základě jichž jsme schopni definovat aktuální stav zkoumaného vzorku. Metody můžeme aplikovat přímo v místě odběru nebo je nutné je provést v laboratoři. Mezi základní metody patří makrostrukturní analýza, ta prozkoumává vzorky pouhým okem, měří a pozoruje geometrické vztahy jednotlivých složek. Je důležité se s rekonstruovaným objektem dobře seznámit a zjistit co nejvíce informací. První předpoklady se často vytváří na základě odborného odhadu, až poté následuje podrobné zkoumání a podložení faktickými daty z laboratoří. V následujících kapitolách zmíním metody nejčastěji používané pro analýzu betonu.



### 5.1.1. Stanovení tloušťky zkarbonatované vrstvy

Stanovení pH pórovitého roztoku betonu indikuje nepřímo jeho hmotnost a plynopropustnost. Hodnota pH indikuje jak eventuální degradaci betonu, tak potenciální rizika související se vznikem elektrochemické koroze výztuže.

Úroveň pH lze zjišťovat:

- kolorimetrické acidobazické indikátory
- potenciometrické měření pH metrem

#### **Kolorimetrické indikátory:**

Metoda je využívána hlavně v terénu. Kolorimetrické indikátory reagují barevným přechodem na jisté úrovni na jistém intervalu hodnot pH. Mezi nejznámější indikátor patří fenolftaleinový roztok (0,1% fenolftaleinu v etylalkoholu). Barevný přechod roztoku je z čirého až po sytě červenofialový, který má rozsah pH 8,2 - 9,6. Zkarbonatovaná oblast betonu má nižší hodnotu pH a zůstane tedy bezbarvá, vzdálenější část od povrchu změni barvu na temně červenofialovou, pH vyšší než 9,6.

Roztok se nanáší štětcem nebo sprejem na čerstvý plášť odebraného jádrového vrtu (nebo jiná lomová plocha) nebo se nanáší na vynášený prach při vrtání, jakmile se zbarví, je známá hloubka karbonatované vrstvy [13]

#### **Potenciometrické měření pH metrem:**

Je založeno na měření rovnovážného elektromotorického napětí galvanického článku tvořeného dvěma elektrodami ponořenými do měřeného roztoku. Jedna elektroda je referenční, je ponořena ve známém roztoku s konstantním elektrodovým potenciálem. Druhá elektroda je indikační. Při ponoření elektrody do měřeného roztoku vzniká potenciálový rozdíl mezi elektrodami. Tento rozdíl je úměrný rozdílu pH, jelikož pH prvního roztoku známe je možné hledané pH dopočítat. [14]



### 5.1.2. Fyzikálně – chemická analýza

Posouzení míry degradace betonu případně dalších charakteristik složení betonu je možné provést pouze na základě výsledku komplexu fyzikálně – chemických analýz.

Mezi fyzikálně – chemické analýzy patří především:

- A) rentgenová fluorescenční analýza (XRF)
- B) analytické metody
- C) rentgenová difrakční analýza (XRD)
- D) diferenční termická analýza (DTA)
- E) stanovení hodnot pH ve výluhu
- F) snímkování mikrostruktury elektronovým mikroskopem

#### A) XRF analýza (rentgenová fluorescenční spektrometrie)

Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF) je analytická metoda na zjišťování chemického složení téměř všech druhů materiálů. Analyzovaný materiál může být v pevné, tekuté, práškové, filtrované nebo jiné formě. XRF může být také použito pro zjišťování tloušťky a složení povrchových vrstev a nátěrů. Jedná se o metodu rychlou, přesnou a nedestruktivní, u které jsou obvykle kladeny poměrně malé nároky na přípravu vzorků. Aplikace této metody je velice široká a používá se v mnoha odvětvích průmyslu, bohužel pro beton je náročná kalibrace měření [13].

Při rentgenové fluorescenční analýze působí na vzorek energie ve formě rentgenového záření z rentgenové lampy nebo radioaktivní záření z radionuklidu. Tímto zářením dojde k vybuzení charakteristických spektrálních čar prvků vzorku. Takto vzniklé fluorescenční (sekundární) záření v sobě nese informaci o kvalitativním prvkovém složení vzorku (vlnové délky resp. energie spektrálních čar) a kvantitativním složení vzorku (četnost fotonů resp. intenzita daných spektrálních čar). [15]

Navzdory všem výhodám je třeba počítat se silnou interferencí, proto je nutné používat při kalibraci maticí standardy. Kalibrace rentgenového spektrometru znamená nalezení funkční závislosti mezi koncentrací analytu a intenzitou měřeného signálu. Měřená intenzita analytické čáry je však ovlivněna maticí vzorku, která způsobuje interferenci. Pro kalibrování je třeba znát složení standardů od výrobce směsi a následně je přeměřit XRF přístrojem [16].





### **Matriční vlivy**

Jsou jevy, které mají vliv na měřenou intenzitu. Patří mezi ně stav vzorku a způsob jeho přípravy, spektrální interference, absorpce a přibuzování.

Zanedbání těchto vlivů vede ve většině případů ke znehodnocení výsledků analýzy, proto je nutné se těmto vlivům věnovat. Nejprve je potřeba eliminovat nebo alespoň minimalizovat rušivé vlivy vhodnou přípravou vzorků a volbou parametrů přístroje [16]:

#### **Příprava vzorku:**

Stav, ve kterém se vzorek nachází, může působit na výsledek analýzy zejména velikostí částic, fázovým složením (vliv krystalické struktury a chemické vazby) a kvalitou ozařovaného povrchu. Jednotlivé metody přípravy vzorků k analýze více či méně tyto vlivy potlačují. Pro XRF analýzu se nejčastěji používají následující metody [16]:

- Metoda lisovací
- Metoda tavicí

### **B) analytické metody**

Tyto metody vychází z normy ČSN 72 0100 Základní postup rozboru silikátů. Všeobecná ustanovení.

### **C) rentgenová difrakční analýza (XRD)**

XRD analýza hledá chemické složení na základě mineralogické složení posuzovaného vzorku. Měření je založeno na faktu, že mezimřížková vzdálenost je pro daný materiál charakteristická. Díky interferenci rentgenového záření, lze podle vlnění definovat mezimřížkovou vzdálenost a podle ní daný materiál.

Identifikovatelné materiály:

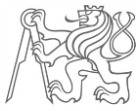
hydratací: portlandit, kalciumhydrosilikatové fáze

karbonatáci: kalcit, aragonit, vaterit

kamenivo: křemen, živec

degradace z okolního prostředí: ettringit, sádrovec, Fredlova sůl

portlandský/hlinitanový cement: hlinitanový - gibbsit, C3AH6 [13]



Látky, analyzované XRD metodou, je nutné před vlastním měřením převést do velmi jemného práškovitého stavu. Tak aby velikost částic byla nejméně pod 0,063 mm. Takto upravený vzorek se vloží do tzv. nosiče vzorku (plošná formička obdélníkového, nebo kruhovitého tvaru). Povrch vzorku v nosiči se zarovná do jedné roviny přitlačením krycího sklíčka. Vzorek se do práškovitého tvaru převádí zejména proto, že i malý objem látky sestává z velkého množství mikroskopických zrn (krystalitů) nejrůzněji orientovaných. Vzhledem k velkému množství těchto mikrozn je i četnost krystalů, orientovaných souhlasně s krystalovou rovinou vzorku, dostačující k průkazné analýze [17].

Výsledek měření se zaznamenává do grafů, zvaných rentgenogramy. Na jedné ose se vypisuje velikost úhlu a ose druhé relativní intenzita, jednotlivé difrakční linie se zobrazí jako píky. V současné době vyhodnocují výsledky měření počítačové programy, které obsahují databázi minerálů a naměřené výsledky s nimi porovnávají. Rentgenogramy se většinou vyhodnocují z hlediska kvality. Určuje se, z jakých krystalických fází je vzorek složen. Dá se stanovovat i množství přítomných krystalických fází, tedy kvantita. Stanovení kvantity je ovšem, obzvlášť u vícesložkových látek, jimiž jsou téměř všechny stavební látky, výrazně složitější. [18]

#### **D) Termická analýza**

Metodami termické analýzy lze sledovat průběh změny vzorků při zahřívání a ochlazení. Mezi sledované pochody patří oxidace, krystalizace, tání, sublimace, dehydratace a další. Pro rozpoznání pevných chemických látek a minerálů se nejčastěji užívají dynamické metody termické analýzy, při kterých je vzorek zahříván a ochlazen konstantní rychlostí podle předem nastaveného programu. Dříve používané statické metody poskytovaly méně informací a pomaleji. Mezi dynamické metody patří derivační termogravimetrie (DTG), základním principem je měření změn hmotnosti analyzovaného vzorku v závislosti na teplotě. Záznam hodnot je proveden do zderivované křivky, která vytváří píky. [19]

Diferenční termická analýza (DTA) je experimentální metoda měřící rozdíly teplot mezi zkoušeným materiálem a standardem. Při analýze jsou sledovány změny hmotnosti, slouží jako doplněk k XRD pro přesnější kvantifikaci cementové matrice. Příkladem využití je stanovení míry karbonatace betonu nebo kontaminace betonu oleji. [13]



### E) Stanovení pH ve výluhu

Vzorek se vyluhuje v destilované vodě v přesném poměru, 2g prášku vzorku se rozmíchají ve 100 ml vody. Hodnota pH se stanovuje pH metrem, viz kapitola 5.1.1. [13]

### F) Snímkování mikrostruktury elektronovým rastrovacím mikroskopem

#### (REM/ SEM)

Obraz vzniká na základě emise odražených elektronů, jejichž zdrojem je rozžhavená katóda. Svazek elektronů je usměrněn elektronovou optikou. Odrazivost materiálů je různá, prvky s vyšším atomovým číslem odrážejí elektrony více, jeví se tedy v obraze světlejší. Ve výsledném obraze se dají prvky přehledně sledovat. [18] Metoda například detekuje krystalické novotvary v korodovaném betonu. [13]

Příklad využití výše jmenovaných metod pro zjištění, zda zkoumaný vzorek betonu je na bázi cementu hlinitanového (CAC) nebo portlandského (PC). Chemicky i mineralogicky se CAC a PC velmi liší. Z hlediska hodnocení vzorků betonu je důležitý poměr oxidů vápenatého a hlinitého ( $CaO/Al_2O_3$ ). Převažuje-li  $CaO$ , pravděpodobně byl použit portlandský cement. Pokud však dominuje  $Al_2O_3$ , mělo by se jednat o hlinitanový cement. Výsledky takového posouzení však mohou být zavádějící. V betonu použité kamenivo může mít výrazný vliv. Například při použití kameniva s vysokým obsahem jílovitých podílů se může zjištěný poměr  $CaO/Al_2O_3$  blížit 1/1, i když byl použit cement na bázi portlandského slínku. Na druhou stranu pokud by se jednalo o beton s kamenivem o vysokém obsahu uhličitanu vápenatého (např.: dolomitické kamenivo), mohl by se poměr  $CaO/Al_2O_3$  klonit na stranu oxidu vápenatého i přes použití CAC.

Z uvedeného vyplývá, že pro korektní posouzení je nutné použít další fyzikálně chemické analýzy a provést například mineralogický rozbor. Mineralogický rozbor vzorku se provádí pomocí rentgenové difrakční analýzy, aby mohla být zjištěna přítomnost jednotlivých minerálů – křemene, CAH10, C2AH8, termodynamicky stálé C3AH6, nebo AH3. Pokud chceme zjistit míru konverze, tedy zastoupení těchto fází, provedeme termickou analýzu vzorku. Rozklad hydratovaných hlinitanů vápenatých se projeví poklesy křivky při daných teplotách. Převažuje-li C3AH6 a ostatní minerály CAH10, C2AH8 chybí, nebo se vyskytují jen ve stopovém množství, znamená to, že míra konverze hlinitanového cementu je velmi vysoká [17].

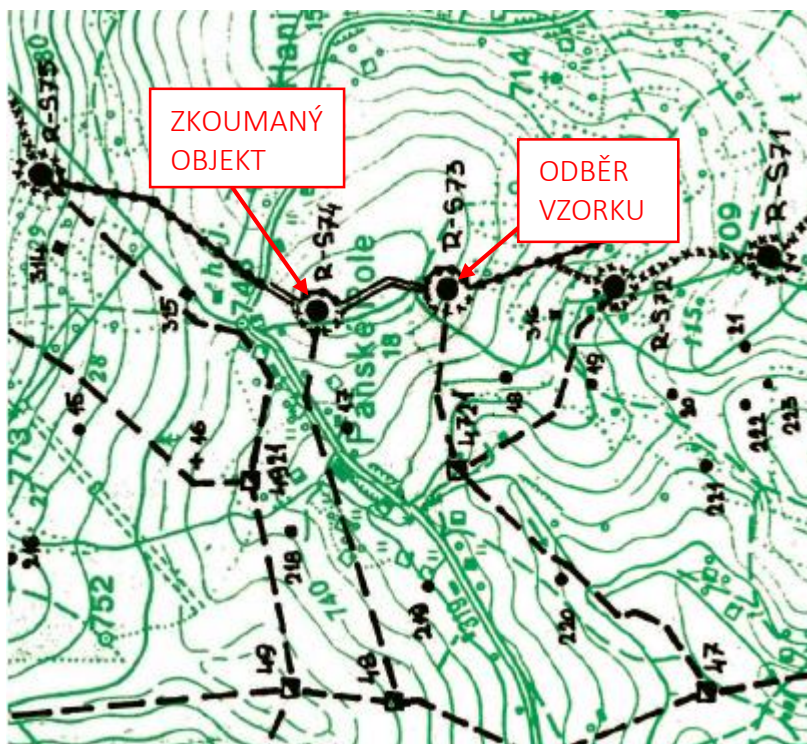


## 5.2. Makrostrukturní analýza

Jedná se o analýzu prozkoumávající strukturu, která je rozeznatelná pouhým okem. Zkoumání byl podroben vzorek betonové konstrukce vojenského pěchotního srubu. Vzorek je pro lepší viditelnost textury upraven, v jednom případě rozříznut a v druhém rozštípnut ve zkušebním lisu příčným tahem.

### 5.2.1. Zkoumaný vzorek

Vzorek pro laboratorní zkoumání nemohl být odebrán přímo ze zkoumaného objektu R-74. Vzhledem k jeho dobře zachovanému stavu by bylo nevhodné zasahovat do nosné konstrukce a poškodit tím její spojitost. Vzorek byl tedy odebrán z vedlejšího Pěchotního srubu R-73 (Obrázek 31).



Obrázek 31: Mapa hlavního obranného postavení úseku Bartošovice-Anenský vrch [6]

Vedlejší objekt byl pro odběr vzorku ideální z několika důvodů. Vzdálenost obou objektů činí jen několik desítek metrů, získávání vzorku bylo méně náročné díky stavu



konstrukce srubu. Část střechy a ochranná křídla byla silně poničena. Tato destrukce nebyla způsobena vojenskou střelbou, ale až po válce odstřelováním ocelových zvonů trhavinou pro získání ocele. Bohužel takto poničená je většina těžkých objektů (Obrázek 32).



Obrázek 32: Pěchotní srub R-73 (foto autorka 29. 3. 2014)

Srub patřil do stejného stavebního podúseku – Kunvald, výstavbu prováděla stejná stavební firma Hlaváček a Müller, Praha XIV jako zkoumaný srub R-74. Odolnost je o stupeň nižší – jen odolnost II. Betonáž byla provedena přibližně o měsíc dříve, od 9. – 15. 11. 1937. Srub je také o něco menší – byl navrhován pro posádku 29 mužů, objem betonu byl 1704 m<sup>3</sup>. [20]

Vzorek pochází ze střešní části, jsou na něm znatelné zbytky asfaltových nátěrů. Má nepravidelný tvar přibližně velikosti 400 × 300 × 200 mm (Obrázek 33).



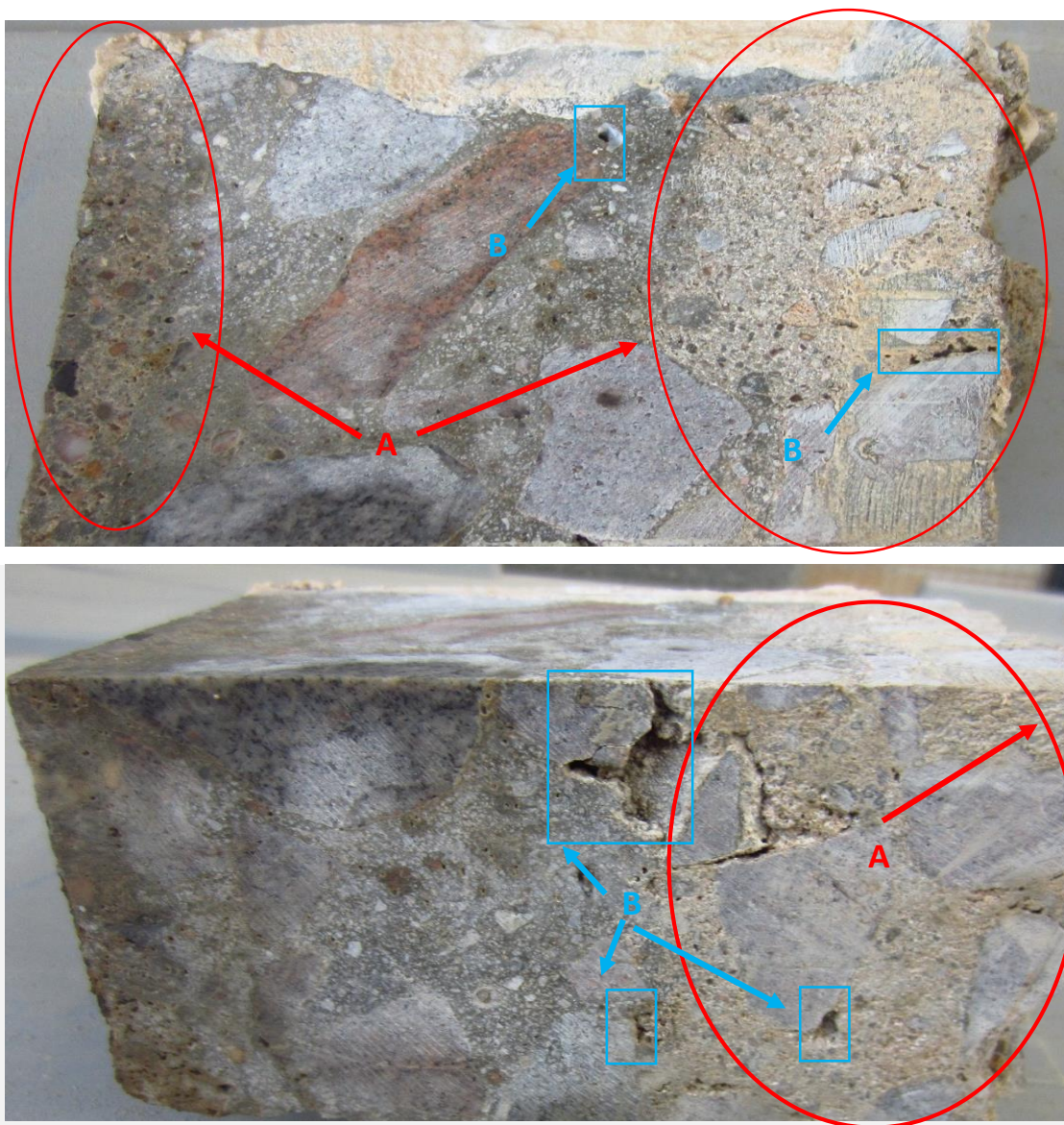
Obrázek 33: Vzorek betonu z konstrukce střechy na místě odběru (foto a. 29. 3. 2014)





### 5.2.2. Analýza struktury

Na řezu vzorkem jsou rozeznatelné dvě homogenity (Obrázek 34). Světlejší je méně hutná, nekvalitnější a tmavá, kvalitnější. Dobře viditelné je kamenivo vysoké frakce z různorodých hornin, nejspíše se jedná o žulu. Na řezu jsou četné drobné póry, které se častěji projevují v nekvalitnější směsi. Na hranici hutné směsi a nekvalitnější směsi vznikla pod kamenivem velká dutina, která potvrzuje nedostatečné promísení směsi při lití betonu do bednění.



Obrázek 34: Nehomogenita hutnosti betonu na řezu části betonové konstrukce z objektu RS-73 (foto autorka 24. 4. 2016)

A: Plochy směsi s horším složením  
B: Makropóry



Další vzorek byl testován tlakovou vodou na vodonepropustnost, poté rozdělen zkušebním lisem na dvě části (Obrázek 35). Po zkoušce je viditelný průsak vody kolem hranice obou směsí. Zbylá část betonu složená z hutné směsi vodu vůbec nepropustí, kvalitní beton je sám o sobě pro vodu nepropustný, ale složení struktury konstrukce bohužel není homogenní.



Obrázek 35: Vzorek části betonové konstrukce z objektu RS-73 (foto autorka 11. 4. 2014)

A: Prosáknutí vody v kvalitním betonu

B: Vlhkost prosakující kolem oblasti s horším složením směsi

Dá se předvídat, že takto nekompaktní může být betonová směs v celé konstrukci budovy, pak může voda proniknout do objektu neočekávaně a odkudkoli. Výsledkem takového předpokladu je, že je vhodné sanovat celý objekt, protože lokální sanace může mít za následek vývěr vody na jiném místě.

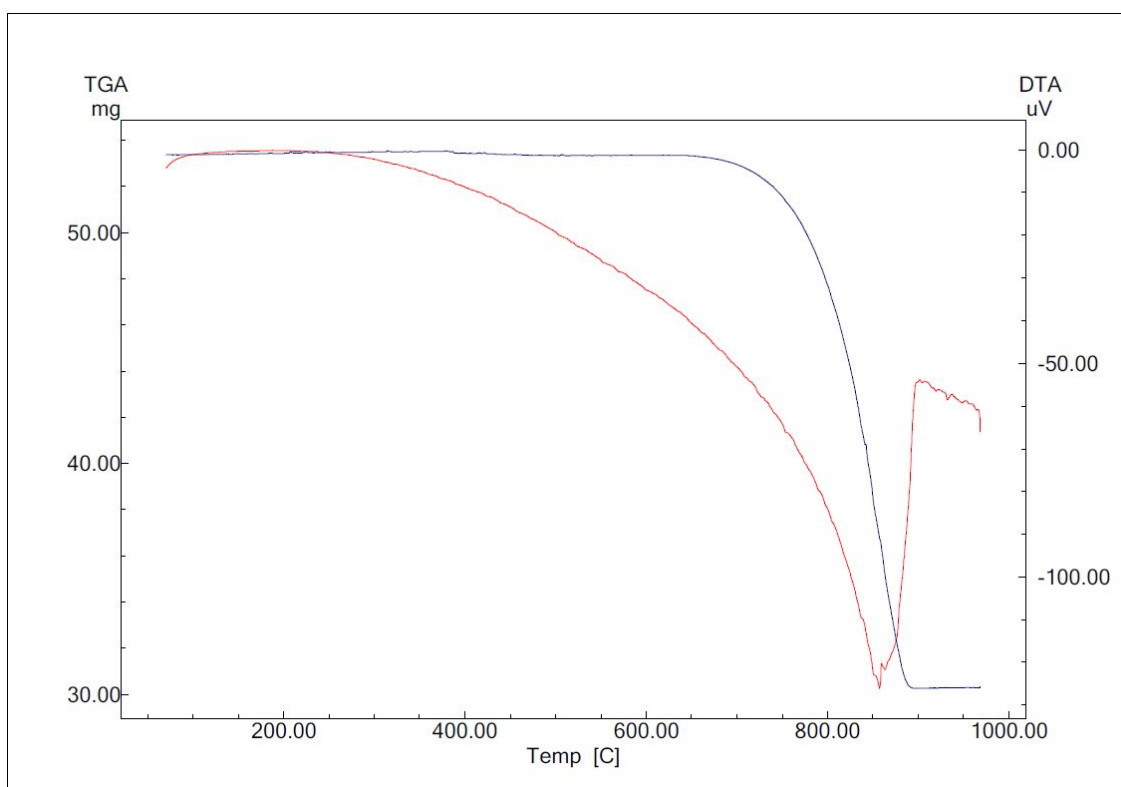


### 5.3. Termická analýza

Ve vybraném objektu byly odebrány vzorky výkvětů (Obrázek 39) soužící k analýze jejich složení. Předpokladem je, že vzorky výkvětů obsahují vápník, jelikož chemickou reakcí vody a oxidu uhličitého se z betonových konstrukcí uvolňuje hydrogenuhličitan vápenatý a následně vytváří kalcitové výkvěty. Zda je vzorek složený z vápence ( $CaCO_3$ ) bylo zkoušeno termickými metodami. Pro větší přesnost byly použity dvě dynamické termické metody, diferenční termická analýza (DTA) a derivační termogravimetrie (DTG). [19]

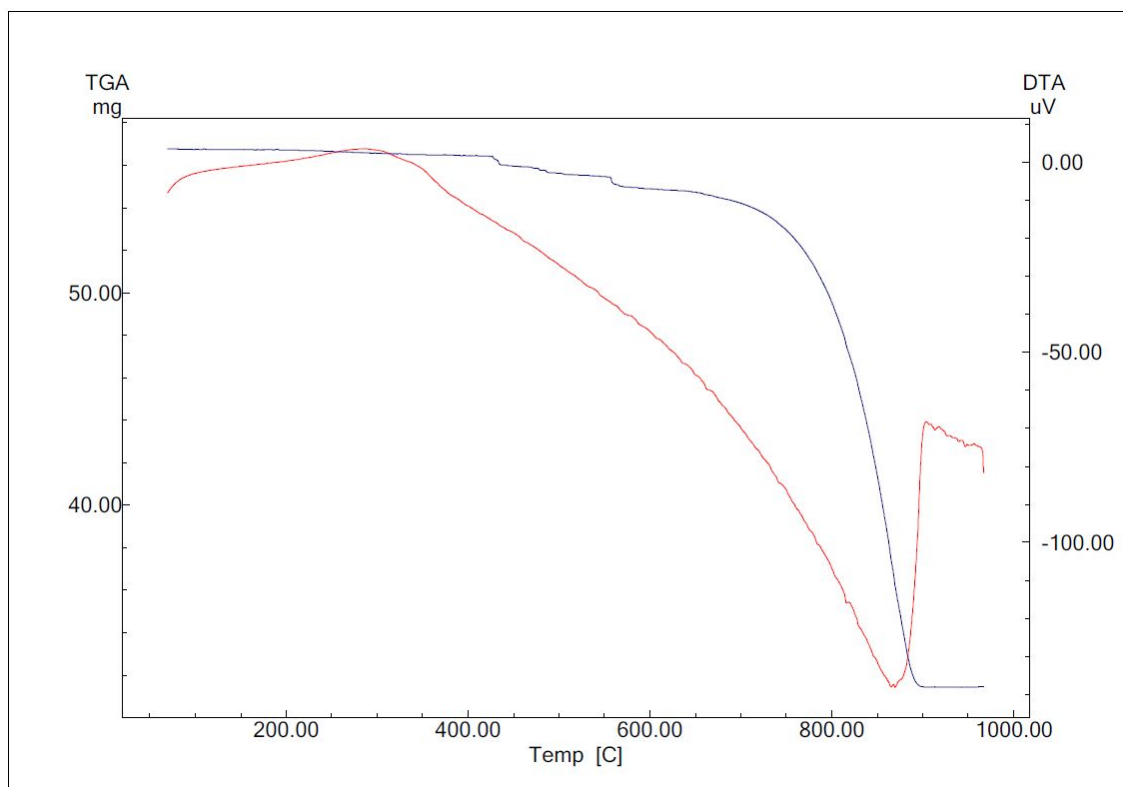
Přístroj pro provedení derivační termogravimetrie se skládá z elektrické pece, analytických vah, zařízení pro měření a řízení teploty a registračního zařízení. Aparatura pro DTA analýzu má na rozdíl od DTG navíc termoelektrické články sloužící jako čidla pro měření teploty a teplotních rozdílů. [19]

Nejprve byl přístrojem zanalyzován známý vzorek mletého vápence, jeho výsledné křivky jsou zaznamenány na následujícím grafu (Obrázek 36). Červená křivka zobrazuje diferenční termickou analýzu (DTA) a modrá derivační termogravimetrii (DTG).



Obrázek 36: Záznam termické analýzy vzorku vápence ( $CaCO_3$ ), metoda DTG-modrá křivka, metoda DTA-červená křivka





Obrázek 37: Záznam termické analýzy vzorku výkvětu z vybraného objektu, metoda DTG-modrá křivka, metoda DTA-červená křivka

Červená křivka zaznamenává změnu teploty změřenou termoelektrickým článkem, v křivce je viditelné hoření vápence při přibližně 850 °C. Modrá křivka zobrazuje změnu hmotnosti měřeného vzorku. Na druhém grafu (Obrázek 37) jsou znázorněny výsledky termické analýzy u vzorku výkvětu z řešeného objektu. Křivky vzorků vápence a výkvětu jsou téměř identické, drobné rozdíly jsou dány znečištěním. Jedná se tedy s nejvyšší pravděpodobností o běžný kalcitový výkvět vznikající vyluhováním portlanditu z betonu.



## 6. Chemická laboratoř

Součástí degradačních procesů způsobených vlhkostí jsou i chemické degradační procesy. Podstatou těchto dějů jsou chemické reakce mezi tuhou a kapalnou fází. Pro průběh reakce musí být zajištěn trvalý přenos reagující kapalné fáze a jejich účinných složek. Celková rychlost reakce je závislá na rychlosti jednotlivých dílčích dějů, z nichž řídicím jevem je nejpomalejší jev.

Chemické degradační procesy jsou charakteristické změnou pórovitého systému. Ten se mění v důsledku chemických reakcí rozpuštěných solí se složkami stavební hmoty, především pojiva. Degradační procesy jsou zapříčiněny méně stabilními složkami stavebních hmot, u malt a betonů se nejčastěji jedná například o uhličitán vápenatý  $CaCO_3$ , reagující s roztoky slabých kyselin. Nosičem stálých roztoků kyselin a volně disociovaných plynů je vlhkost. Reakcí méně stabilních sloučenin stavebních hmot spolu se slabými kyselinami vznikají rozpustné soli, které jsou vyplavovány napovrch, kde dochází k jejich krystalizaci – vznikají charakteristické výkvěty solí. Vymýváním pojivových složek betonu dochází k poklesu mechanických vlastností a zvyšování pórovitosti. Dále k postupnému zvětrávání, provázenému povrchovou a vnitřní korozi. [10]



Obrázek 38: Místo odběru krápníků rostoucích na žlábků (stalaktit) (foto autorka 10. 3. 2016)



Obrázek 39: Místo odběru nánosů ze žlábků ve střílně (foto autorka 10. 3. 2016)



Obrázek 40: Místo odběru krápníku rostoucího z podlahy (stalagmit) (foto autorka 10. 3. 2016)

Odebrané výkvěty solí jsem podrobila zkouškám chemického složení v chemické laboratoři. Vzorky byly odebrány 10. 3. 2016 v místnosti zvon sever. První vzorek byl



odebrán ze spodní části žlábků odvádějícího zkondenzovanou vodu ze stěn. Na spodní straně rostou drobné krápníky – brčka (Obrázek 38). Druhý vzorek byl odebrán přímo ze žlábků, jedná se o nánosy z jeho dna (Obrázek 39). Poslední vzorek byl odebrán z podlahy, kde vznikala stalagmit odkapáváním (Obrázek 40). Odebrané vzorky byly pečlivě zabaleny do folie, převezeny z místa odběru a testovány v laboratoři 21. 3. 2016.

Proces vzniku krápníků na betonových konstrukcích je podobný jako v jeskyních. Předpokladem je přítomnost sloučenin vápníku. Může se jednat o oxid vápenatý  $CaO$ , hydroxid vápenatý  $Ca(OH)_2$  nebo uhličitán vápenatý  $CaCO_3$ . Naopak vápenaté křemičitany a hlinitany tvořící součást cementového pojiva jsou obecně hůře rozpustné. V nadbytku vody vzniká roztok hydroxidu vápenatého a z něj se v kontaktu s oxidem uhličitým  $CO_2$  obsaženým ve vzduchu vysráží uhličitán vápenatý, tedy kalcit. Ten vytváří krápníky. [21]

Podle těchto obecných zákonitostí je cílem dokázat ve vzorcích primárně obsah vápníku  $Ca$  a uhličitánů  $CO_3$ . Přítomnost vápníku již byla potvrzena termickou analýzou v předchozí kapitole.

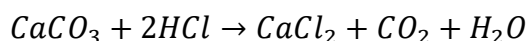
**Pro hledání těchto prvků jsem použila tyto metody:**

- reakce s kyselinou chlorovodíkovou
- kolorimetrická metoda
- spektrofotometrická metoda
- zkouška plamenem

Postupně budou podrobněji zmíněny použité metody a jejich postupy.

### 6.1.1. Reakce s kyselinou chlorovodíkovou ( $HCl$ )

První zkouška měla za cíl dokázat přítomnost uhličitánů. Nejsnazší metodou pro jejich zjištění je reakce s kyselinou chlorovodíkovou. Pokud se jedná o uhličitán, reakcí dále vzniká chlorid, voda a oxid uhličitý. Právě výsledný oxid uhličitý se projevuje šuměním, což je důkazem přítomnosti uhličitánů. V následující rovnici je tento vztah uveden v nejjednodušší variantě s vápníkem.



Odebrané vzorky (Obrázek 41, Obrázek 42, Obrázek 43) byly umístěny do misek a opatrně zakápnuty kyselinou chlorovodíkovou. Vzorky šuměly ve všech třech případech, všechny obsahují uhličitán.



Obrázek 41: Odebraný vzorek krápníku (foto autorka 21. 3. 2016)



Obrázek 42: Odebraný vzorek solí ze žlábků (foto autorka 21. 3. 2016)



Obrázek 43: Odebraná čochka začínajícího stalagmitu (foto autorka 21. 3. 2016)

### 6.1.2. Kolorimetrická metoda

Další metoda analýzy chemického složení byla velmi rychlá, nebylo třeba složitě připravovat vzorky a výsledek je znám okamžitě. Testovací papírky slouží pro semikvantitativní stanovení iontů v roztoku látky. Část vzorku byla umístěna do baňky a doplněna 5 ml destilované vody. Testování pomocí testovacích proužků Qantofix je možné začít téměř okamžitě po smíchání. Analyzovány byly tři látky: chloridy, sírany a nitrity. Přesněji popsáno v následující tabulce (Tabulka 3).

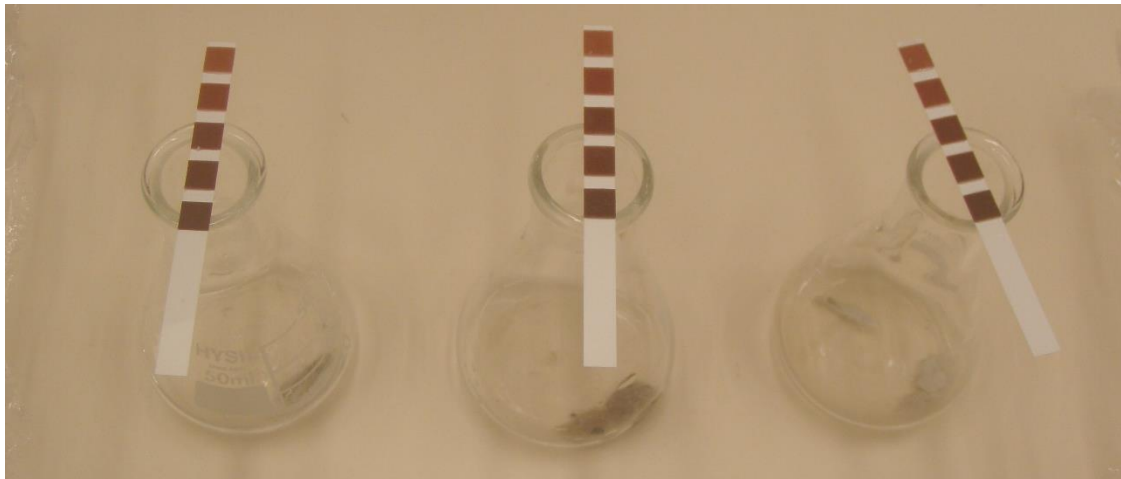
Tabulka 3: Analyzované látky pomocí testovacích papírků

Analyzovaná látka		Barevná změna
Chloridy	$Cl^-$	Hnědá/žlutá
Sírany	$SO_4^{2-}$	Červená/žlutá
Nitrity	$NO_2^-$	Bílá/červeno - fialová



### Testování chloridů $\text{Cl}^-$

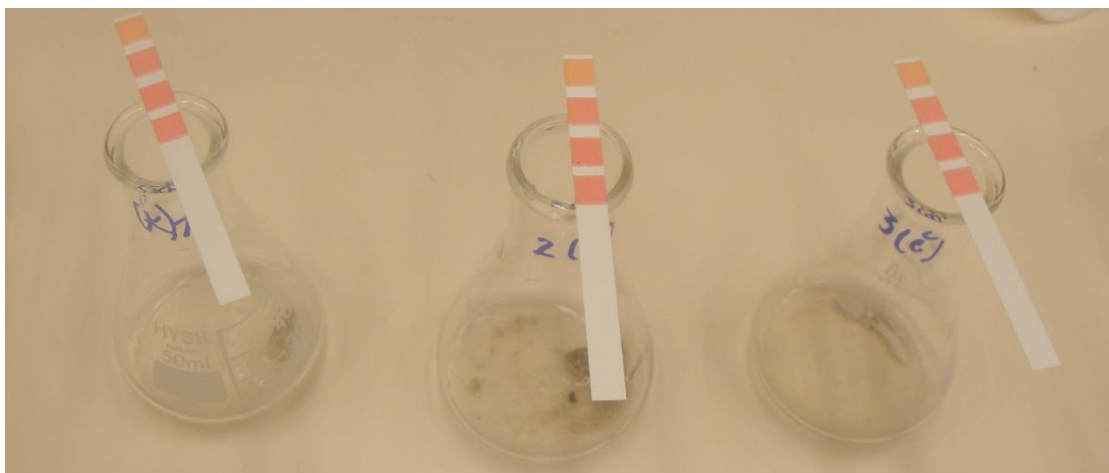
Testovací papírky byly vloženy pinzetou na chvíli do směsi odebraného vzorku a destilované vody. Poté byly ponechány na baňce působit (Obrázek 44). V tomto případě se barvy na testovacích papírcích vůbec nezměnily. Vzorky chloridy neobsahují.



Obrázek 44: Vzorky s testovacími proužky analyzujícími chloridy  $\text{Cl}^-$  (foto autorka 21. 3. 2016)

### Testování síranů $\text{SO}_4^{2-}$

Testovací papírky byly vloženy stejným způsobem jako v předchozím případě. Ponechaly se krátkou dobu na baňce působit, zde se již barvy změnily (Obrázek 45). Podle škály uvedené na obalu vzorek obsahuje 400 – 800 mg/l síranů.

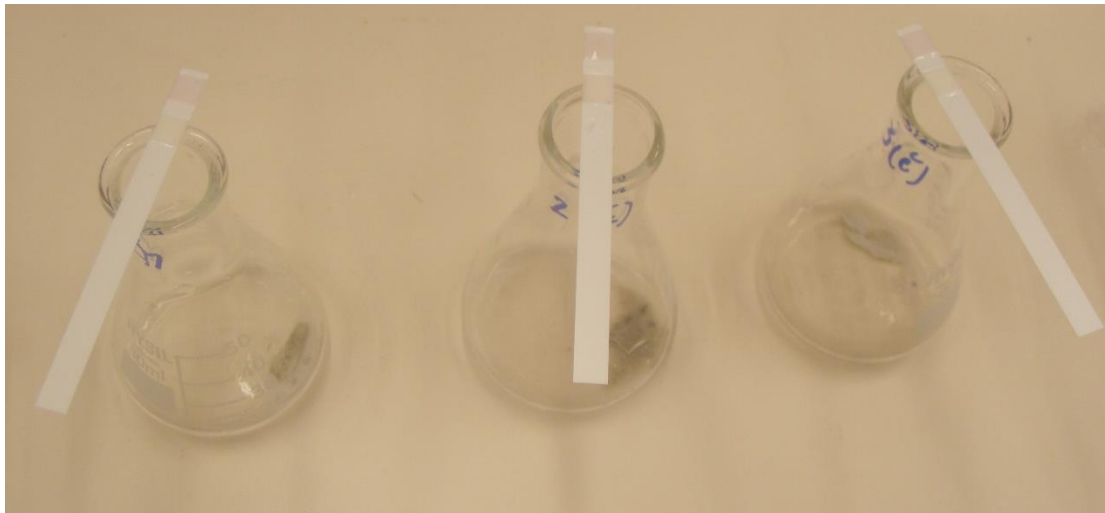


Obrázek 45: Vzorky s testovacími proužky analyzujícími sírany  $\text{SO}_4^{2-}$  (foto autorka 21. 3. 2016)



### Testování nitritů $\text{NO}_2^-$

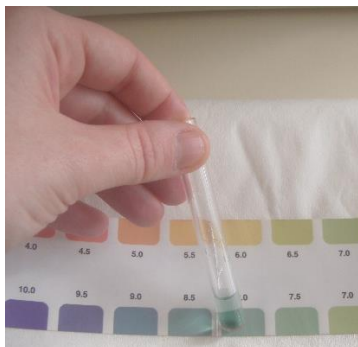
Postup byl opět identický jako v předchozích případech. V tomto případě se barvy opět vůbec nezměnily (Obrázek 46). Vzorky nitrity neobsahují.



Obrázek 46: Vzorky s testovacími proužky analyzujícími Nitrity  $\text{NO}_2^-$  (foto autorka 21. 3. 2016)

### Testování pH

V rámci zkoušek byla změřena i hodnota pH vzorku pomocí roztoku. Vzorek 1 a 3 měly hodnotu pH kolem 8, jedná se o téměř neutrální pH. Vzorek 2 měl kyselé pH 5,5. Kyselé pH tvoří ideální prostředí pro růst bakterií a mikroorganismů, které mohou rozrušovat stavební materiály. V tomto případě, ale kyselé pH mohlo být následkem složení vzorku, který nebyl tak čistý jako vzorky 1 a 3. Vzorek 2 byl odebrán ze žlábků, jednalo se o usazeninu, která mohla obsahovat různorodé nánosy.



Obrázek 47: Vzorek 1 - pH 8 (foto autorka 22. 3. 2016)



Obrázek 48: Vzorek 2 - pH 5,5 (foto autorka 22. 3. 2016)



Obrázek 49: Vzorek 3 - pH 8 (foto autorka 22. 3. 2016)





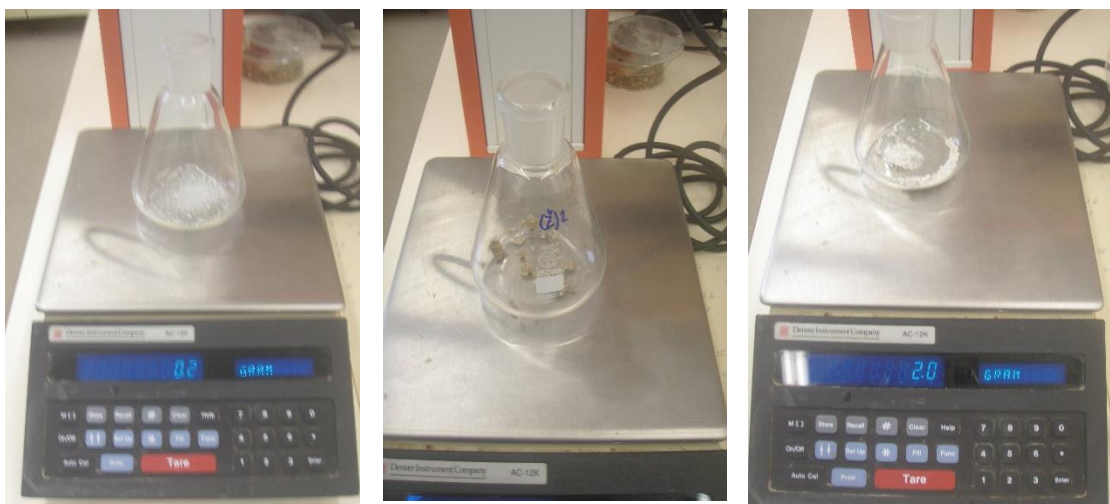
### 6.1.3. Spektrometrie

Další chemické prvky ve složení vzorků byly hledány přesnější metodou, která byla schopná stanovit nejen kvalitu, ale i kvantitu hledané látky. Využitá metoda zvaná spektrometrie, je analytická metoda měřící absorpci světla vzorkem při určitém rozsahu vlnových délek. [22]

Kvantitativní stanovení chemického složení bylo provedeno pomocí UV – VIS fotometru Spectroquant Pharo 300. Příprava vzorku pro analýzu fotometrem byla časově náročnější. Nejprve byla odvážena přesná hmotnost vzorku (Obrázek 50). A doplněna odpovídajícím množstvím vody, v poměru 2 g látky:100 ml destilované vody (Tabulka 4). Vzorku č. 1 bylo velmi malé množství, roztoku bylo připraveno méně, ale ve stejném poměru.

Tabulka 4: Hmotnost jednotlivých vzorků a množství destilované vody pro přípravu testovací látky

Zkoumaný vzorek	Značení	Zkoumaný vzorek (g)	Destilovaná voda (ml)
Krápník stalaktit	1	0,2	10
Vzorek ze žlábků	2	2	100
Čočka stalagmitu	3	2	100



Obrázek 50: Navážení všech tří zkoumaných vzorků (foto autorka 21. 3. 2016)



Aby došlo k lepšímu rozpuštění vzorku v destilované vodě, byl vložen na několik minut do ultrazvuku. V přístroji s ultrazvukovými vlnami dochází k lepšímu oddělení částic (Obrázek 51).



Obrázek 51: Přístroj s ultrazvukovými vlnami (foto autorka 21. 3. 2016)

Poté byl ponechán roztok přes noc sedimentovat. Druhý den bylo nutné rozpuštěné vzorky přefiltrovat přes papírový filtr (Obrázek 52). Roztok se nesmí před filtrováním míchat, aby se usazenina nedostala do filtru a nezanesla ho. Po přefiltrování byl roztok se vzorkem látky připravený na testování.



Obrázek 52: Filtrace vzorků přes papírový filtr (foto autorka 22. 3. 2016)





Poté již bylo možné přistoupit k přípravě roztoků pomocí speciálních sad pro hledání jednotlivých prvků. Hotové roztoky se vlyly do skleněné kyvety (Obrázek 53), která se následně vložila do fotometru (Obrázek 54). Přístroj po několika vteřinách napíše množství látky v mg/l.



Obrázek 53: Skleněná kyveta vkládající se do spektrofotometru (foto autorka 22. 3. 2016)



Obrázek 54: UV – VIS fotometr Spectroquant Pharo 300 (foto autorka 22. 3. 2016)

### Testování síranů $\text{SO}_4^{2-}$

Při předchozí kolorimetrické zkoušce byly identifikovány sírany, v této zkoušce bylo určeno spektrofotometrem jejich přesnější množství. Byla použita speciální testovací sada pro sírany. Postup zahrnoval temperování při  $40^\circ\text{C}$  po přidání druhé a třetí složky sady (Obrázek 55). Již při přípravě vzorku byla viditelná změna barvy roztoku. Změna barvy značí přítomnost hledané látky, nejsytěji se zbarvil třetí vzorek..



Obrázek 55: Temperování roztoku pro testování síranů (foto 22. 3. 2016)



Obrázek 56: Přesné odměření všech použitých látek pomocí automatické pipety (foto autorka 22. 3. 2016)



Výsledky ze spektrometru potvrdily zbarvení roztoku, vzorek 1: 25 mg/l, vzorek 2: 32 mg/l a vzorek 3: 177 mg/l. Vzorek z podlahy zkoumané místnosti obsahuje nejvyšší množství síranů

#### 6.1.4. Výsledky z laboratoře

Měření z laboratoře je souhrnně shrnuto v následující tabulce (Tabulka 5). Byla potvrzena přítomnost uhličitánů, uhličitán vápenatý byl prokázán již termickou analýzou, jedná se o vápenné výkvěty. Složení výkvětů obsahuje mimo uhličitán vápenatého i sírany a chloridy, další zkoušené chemické prvky nebyly prokázány.

Tabulka 5: Souhrn výsledků hledaných chemických prvků s metodou zkoumání

METODY A HLEDANÉ CHEMICKÉ SLOŽENÍ						
METODA ZKOU- MÁNÍ	ZKOUMANÁ LÁTKA			1	2	3
	značka	název	jed- notky	(krápník)	(žlábek)	(čočka)
kolorimetrická	<b>pH</b>	vodíkový ex- ponent	[-]	8	5,5	8
kolorimetrická	<b>Cl-</b>	chloridy	[mg/l]	nezkoušeno	5	10
<i>přepočet</i>	<b>Cl-</b>	chloridy	[mg/g]	nezkoušeno	0,25	0,5
spektrofotometrie	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	sírany	[mg/l]	25	32	177
<i>přepočet</i>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	sírany	[mg/g]	0,5	0,64	3,54
kolorimetrická	<b>Si</b>	křemík	[mg/l]	0 *	0 *	0 *
reakce s kyselinou chlorovodíkovou (HCl)	<b>CO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	uhličitany	[-]	ANO	ANO	ANO

\* Naměřená hodnota byla menší než 25 mg/l. Spektrofotometr měří v rozmezí 25 – 300 mg/l.



## 7. Měření vlhkosti konstrukcí v objektu

Pro přesnou vlhkostní analýzu objektu je třeba důkladný průzkum. Vlhkost konstrukce se dá přesně určit pouze měřením. Metody pro průzkum se dělí na destruktivní a nedestruktivní. V tomto případě volím oba způsoby průzkumu. Celý objekt jsem zmapovala nedestruktivní metodou, pomocí kapacitního vlhkoměru. Toto měření jsem provedla dvakrát, poprvé v jarním období 14. 4. 2014 a podruhé v zimním období 10. 3. 2016 již po drobném sanačním zákroku.

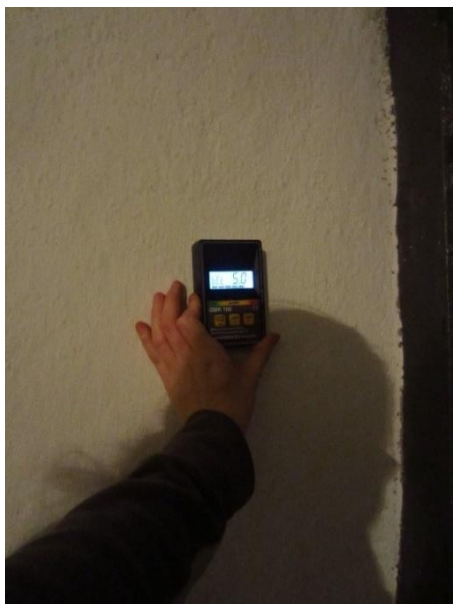
Gravimetrickou analýzu jsem použila pouze v jednom místě, abych nadměrně neničila obývaný objekt, jedná se o destrukční metodu. V objektu byly vzorky betonu pouze odebrány, pro měření byly odvezeny do specializované laboratoře.

### 7.1. Měření kapacitním vlhkoměrem

Měření elektrickými přístroji bývají spíše orientační, jsou založena na měření odporu nebo elektrické kapacity materiálu a na měření změny hodnot v důsledku zvlhnutí.

Zvolila jsem metodu kapacitní. Tyto vlhkoměry pracují jako kondenzátor a měřený stavební materiál je jeho dielektrikem. Přesnost kapacitních vlhkoměrů je o něco větší, než u odporových vlhkoměrů, přesto nejsou zcela schopny eliminovat odchylky elektrické kapacity v závislosti na koncentraci iontů v materiálu. Tato koncentrace je proměnlivá podle druhu materiálu a podle obsahu solí v materiálu. Další nevýhodou je poměrně malá hloubka měření – kolem 20–30 mm. [23]

Mé měření vlhkosti probíhalo 19. 4. 2014 a 10. 3. 2016 pomocí kapacitního přístroje *GRESINGER GMK 100* (Obrázek 57), přístroj byl nastaven na hloubku měření 25 mm. Měřeny byly všechny betonové stěny z interiéru s výjimkou stěn obložených ocelovým plátováním, kde nebylo možné provést měření. U každé stěny byla měřena vlhkost ve třech výškových úrovních, ve vzdálenostech od podlahy 0,2 m, 1,2 m a 2,4 m. Mimo svislých stěn v obou podlažích byla změřena i vlhkost podlahy. Celkem bylo provedeno 180 měření na 61 místech v objektu.

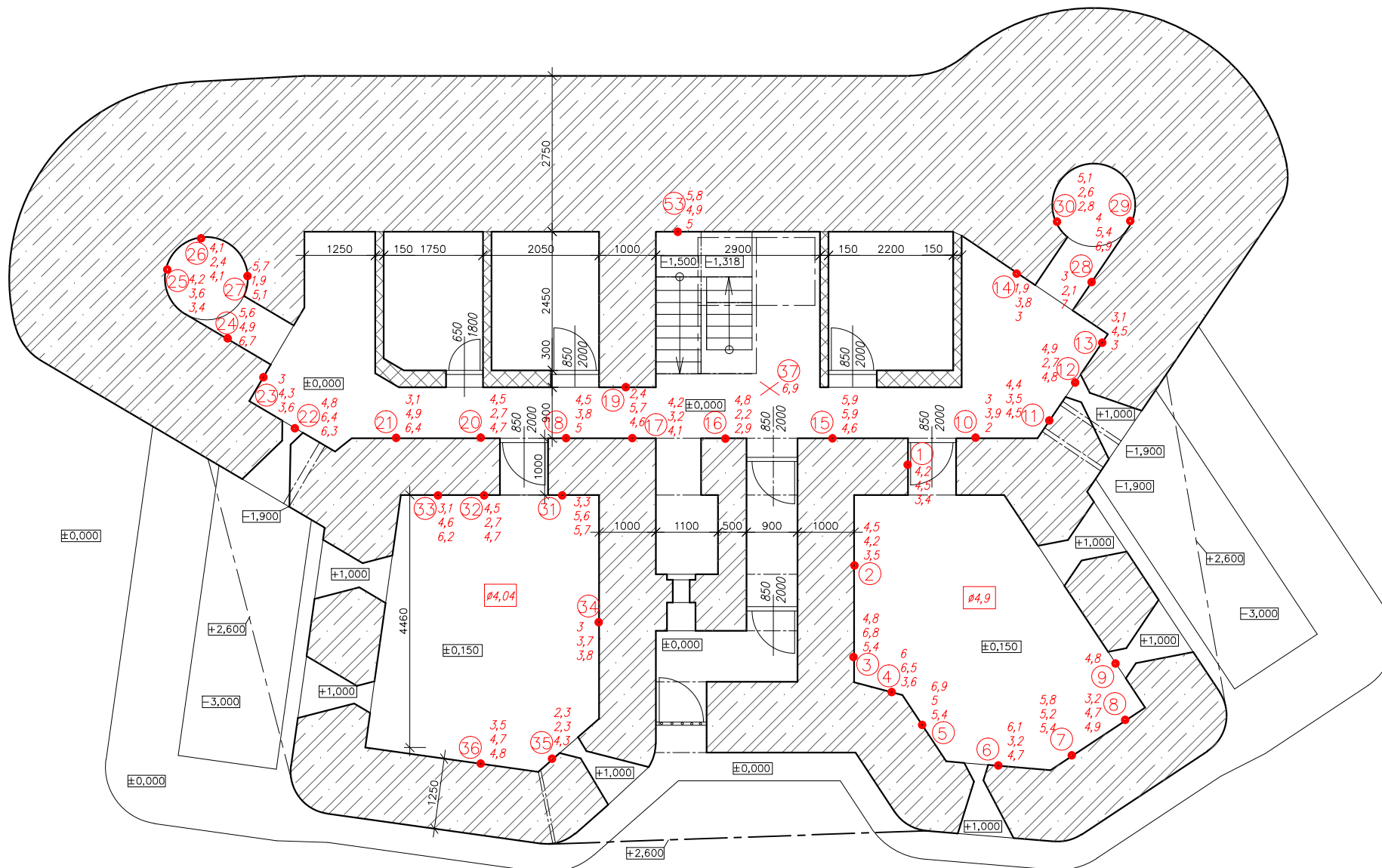


Obrázek 57: Měření vlhkosti konstrukcí kapacitním vlhkoměrem GRESINGER GMK 100 (foto autorka 10. 3. 2016)

Výsledky měření prokázaly zvýšenou hmotnostní vlhkost konstrukcí v celém objektu. Kategorie vlhkostí konstrukce jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 6). Nejmenší naměřená hodnota činila 1,9%, nejvyšší 7,6% hmotnostní vlhkosti. Všechna měření jsou zakreslena ve výkresech prvního nadzemního a podzemního podlaží (v.č.11, v.č.12, v.č.13, v.č.14). Vlhkost není v průměru příliš vysoká, přesto voda v objektu na několika místech vyvěrá. Tuto nesrovnalost přisuzují nehomogenitě betonu, která je viditelná na vzorcích betonu z vedlejšího objektu. Kvalitní beton je téměř vodonepropustný, naopak nekvalitní směs betonu vlhkost snadno protéká. Na vzorcích byl poměr těchto homogenit přibližně 80% kvalitní směsi a 20% nekvalitní. Proto je možné naměřit ve většině případů hodnoty spíše nižší, protože natrefit na nekvalitní směs při povrchu konstrukce je málo pravděpodobné.

Tabulka 6: Kategorie vlhkosti konstrukce dle ČSN P 73 06 10

KATEGORIE	VLHKOST	KATEGORIE VLHKOSTI KONSTRUKCE
I	0,0 - 3,0%	vlhkost velmi nízká
II	3,0 - 5,0%	vlhkost nízká
III	>5,0 - 7,5%	vlhkost zvýšená
IV	>7,5 - 10,0%	vlhkost vysoká
V	>10,0%	vlhkost velmi vysoká



Hmotnostní vlhkost byla měřena 19.4.2014.  
kapacitním přístrojem GREISINGER electronic  
GMK 100.  
Nastaven byl na materiál beton, na hloubku  
měření 25 mm.

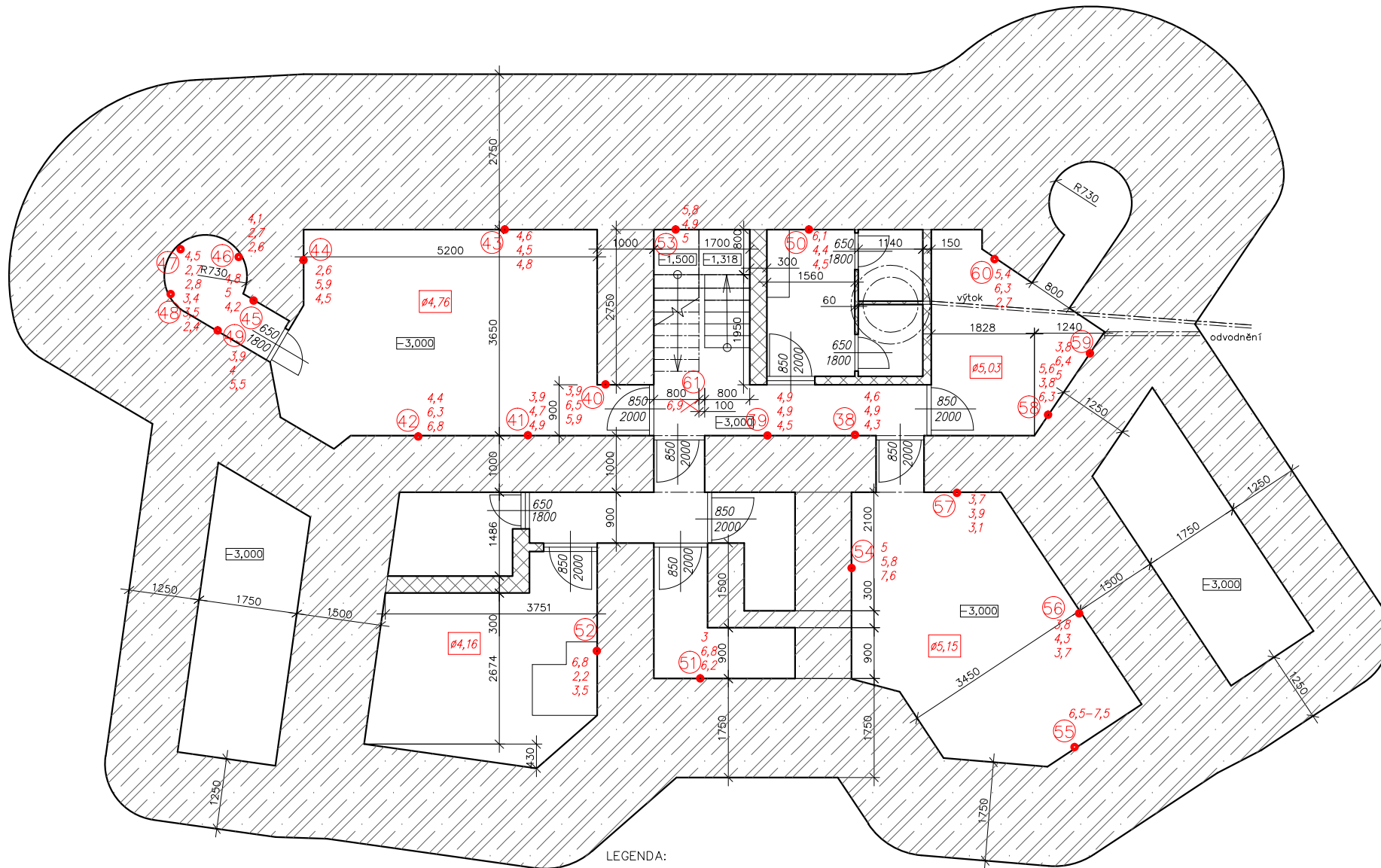
03,1 Průměrná vlhkost z  
měření v místnosti

LEGENDA:  
Označení místa měření

Číslo místa měření 32 hm. vlhkost (%) stěny 2,4 m nad podlahou  
4,5 hm. vlhkost (%) stěny 1,2 m nad podlahou  
2,7 hm. vlhkost (%) stěny 0,2 m nad podlahou  
4,7

61 vlhkost podlahy  
Označení místa měření x 6,9

DIPLOMOVÁ PRÁCE		MAGDALENA PURKRTOVÁ	
MĚŘENÍ VLHKOSTI NA KONSTRUKCI		Č.11.	
PŮDORYS 1. NP		1:100	



Hmotnostní vlhkost byla měřena 19.4.2014.  
kapacitním přístrojem GREISINGER electronic  
GMK 100.  
Nastaven byl na materiál beton, na hloubku  
měření 25 mm.

03,1 Průměrná vlhkost z  
měření v místnosti

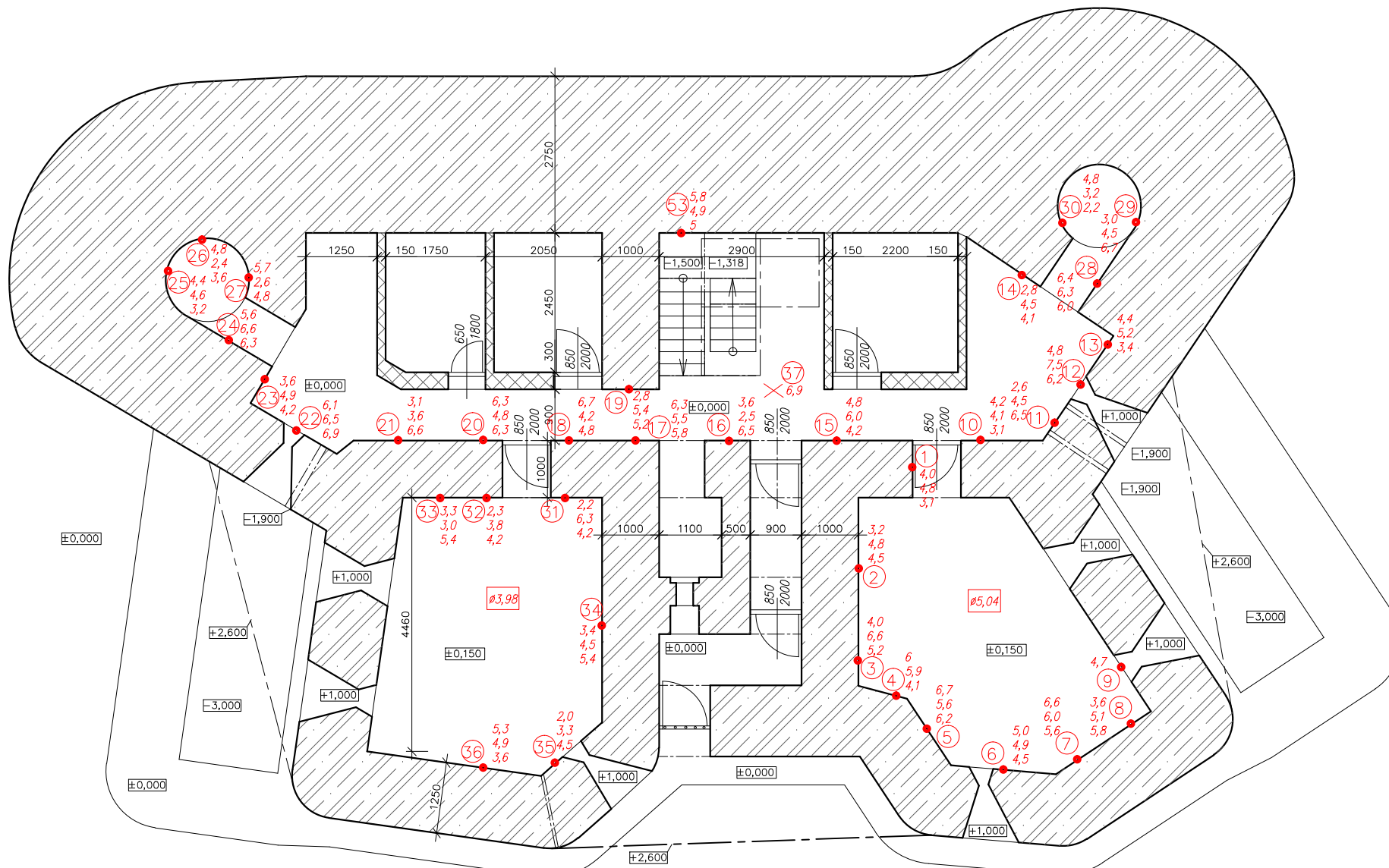
LEGENDA:

Označení místa měření

Číslo místa měření 4,5 hm. vlhkost (%) stěny 2,4 m nad podlahou  
2,7 hm. vlhkost (%) stěny 1,2 m nad podlahou  
4,7 hm. vlhkost (%) stěny 0,2 m nad podlahou

Označení místa měření 61 vlhkost podlahy  
6,9

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
MĚŘENÍ VLHKOSTI NA KONSTRUKCI	Č.12.
PŮDORYS 1. PP	1:100



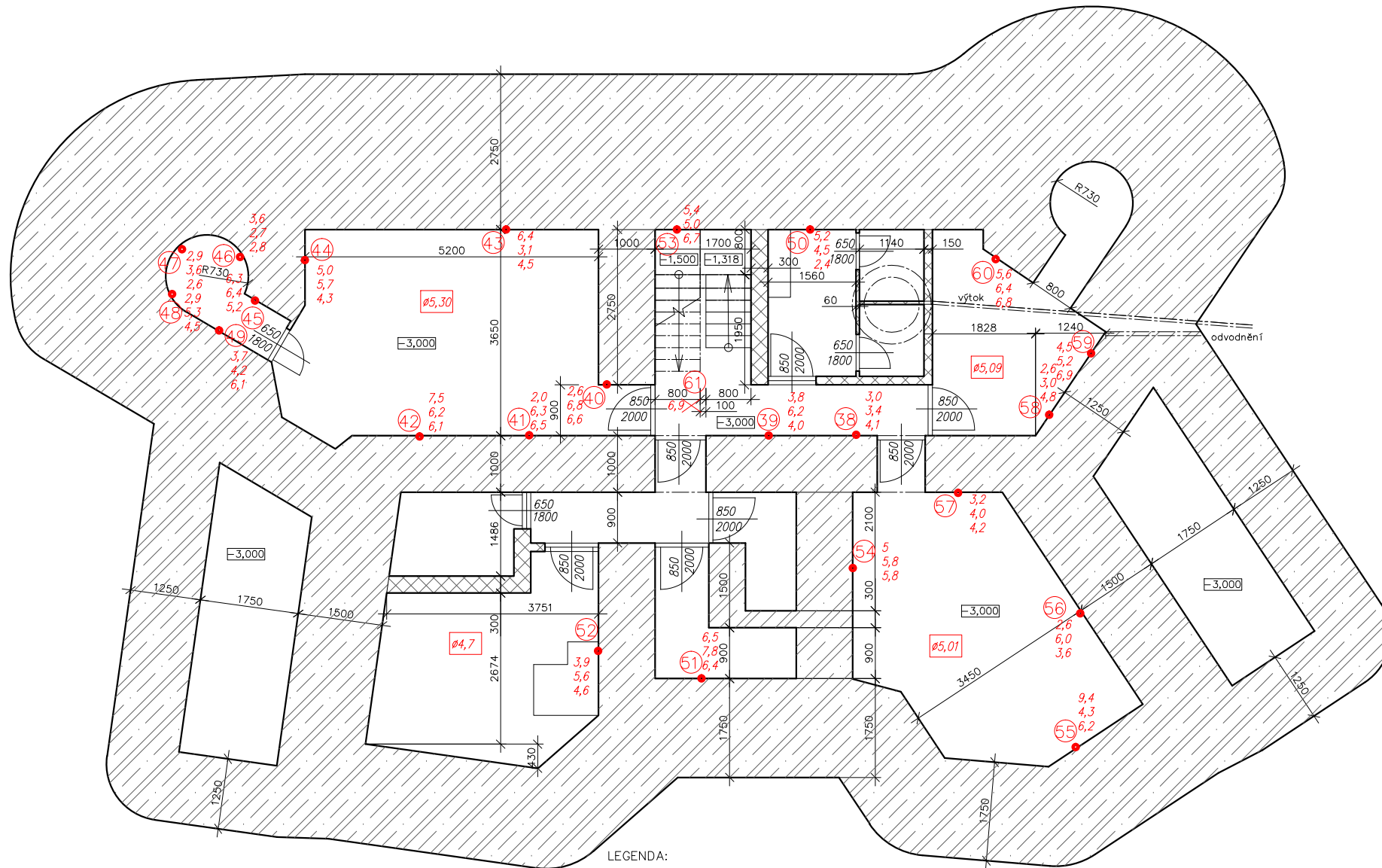
Hmotnostní vlhkost byla měřena 10.3.2016.  
kapacitním přístrojem GREISINGER electronic  
GMK 100.  
Nastaven byl na materiál beton, na hloubku  
měření 25 mm.

3,71 Průměrná vlhkost z  
měření v místnosti

LEGENDA:  
Označení místa měření  
Číslo místa měření 32 hm. vlhkost (%) stěny 2,4 m nad podlahou  
4,5 hm. vlhkost (%) stěny 1,2 m nad podlahou  
2,7 hm. vlhkost (%) stěny 0,2 m nad podlahou  
4,7  
61 vlhkost podlahy  
Označení místa měření X 6,9

DIPLOMOVÁ PRÁCE		MAGDALENA PURKRTOVÁ	
MĚŘENÍ VLHKOSTI NA KONSTRUKCI		Č.13.	
PŮDORYS 1. NP		1:100	





LEGENDA:

Označení místa měření

- Číslo místa měření 52 4,5 hm. vlhkost (%) stěny 2,4 m nad podlahou
- 2,7 hm. vlhkost (%) stěny 1,2 m nad podlahou
- 4,7 hm. vlhkost (%) stěny 0,2 m nad podlahou

- Označení místa měření 61 vlhkost podlahy

Ø3,1 Průměrná vlhkost z měření v místnosti

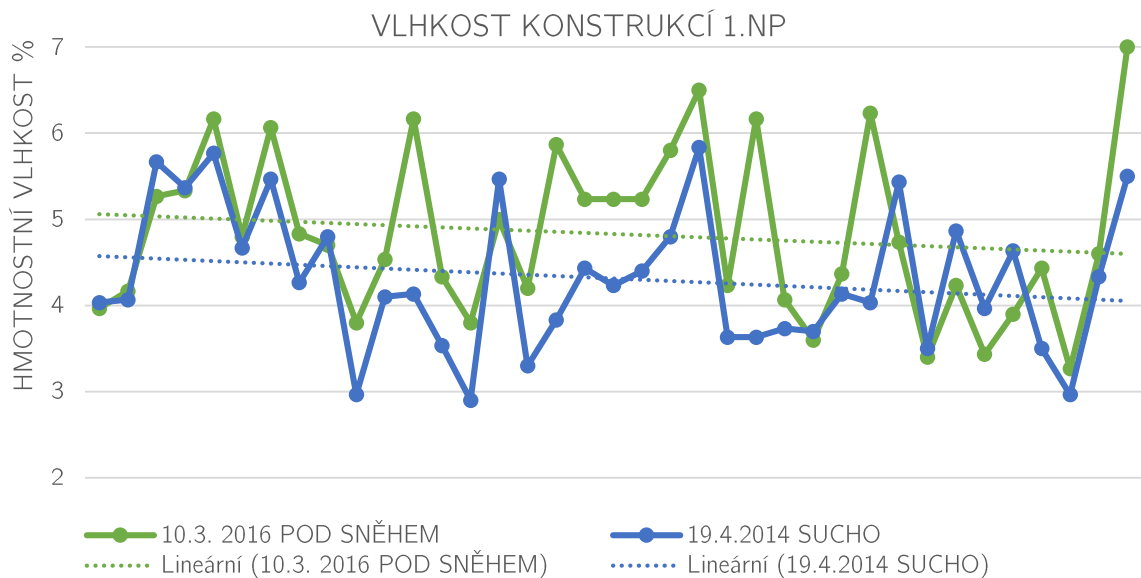
Hmotnostní vlhkost byla měřena 10.3.2016. kapacitním přístrojem GREISINGER electronic GMK 100. Nastaven byl na materiál beton, na hloubku měření 25 mm.

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
MĚŘENÍ VLHKOSTI NA KONSTRUKCI	Č.14.
PŮDORYS 1. PP	1:100

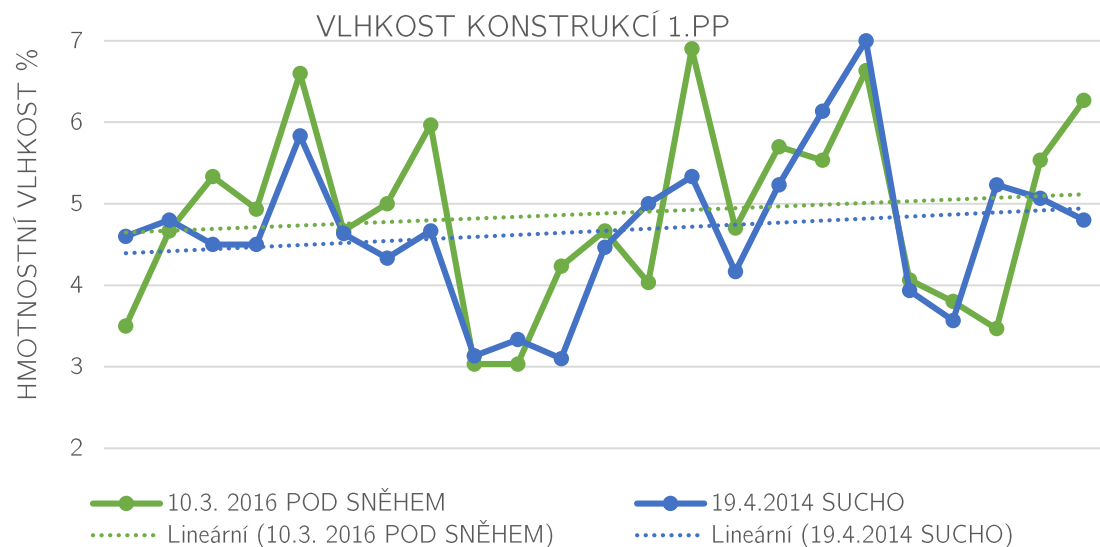




Při analýze výsledků jsem porovnávala vlhkost měření v jarním období (19. 4. 2016) a zimním období (10. 3. 2016), kdy byl objekt pod sněhovou pokrývkou. Při promítnutí lineárního trendu výsledků je viditelné, že měření provedené 10. 3. 2016 vykazuje hodnoty vlhkosti vyšší než měření ze dne 19. 4. 2016 (Obrázek 58; Obrázek 59).



Obrázek 58: Graf srovnávající vlhkost konstrukcí měřenou v zimním a jarním období v 1.NP



Obrázek 59: Graf srovnávající vlhkost konstrukcí měřenou v zimním a jarním období v 1.PP



## 7.2. Měření vlhkosti vzorku pomocí gravimetrických vah

Gravimetrická metoda neboli vážková metoda spočívá ve vážení vzorku přímo po odběru a následně po jeho vysušení. Výsledný rozdíl v hmotnosti je roven hmotnosti vody obsažené ve vzorku. Hmotnostní vlhkost pak získáme ze vzorce:

$$w = \frac{m_v - m_s}{m_s} * 100 [\%]$$

Jak již bylo zmíněno, jedná se o destruktivní metodu. Je nutné odebrat dostatečné množství vzorků, aby byl výsledek objektivní. Nevýhodou tohoto měření je dlouhá doba čekání na výsledky a potřeba převezení vzorku v nezměněném stavu do specializované laboratoře. [24]



Obrázek 60: Důkladné, těsné zabalení vzorků pro převoz do laboratoře (foto autorka 10. 3. 2016)

Vzorky pro měření vlhkosti gravimetrickou metodou byly odebrány v ubikaci, v místě odstranění plechových plátů. Vzorky byly okamžitě po odběru důkladně baleny do folie, aby zůstala vlhkost zachována (Obrázek 60). Celkově bylo odebráno 6 vzorků, ty byly neprodleně po odběru 10. 3. 2016 odvezeny z Orlických hor do laboratoře ČVUT v Praze. Vzorky byly odebírány postupně a do stále větší hloubky. První čtyři vzorky byly z hloubky 0,5 – 1,5 cm, považujeme je za povrchové, jejich hmotnostní vlhkost je značně ovlivněna okolním vzduchem. Objekt byl po několik dní vytápěn a vrchní vrstva mohla být sušší než obvykle. Další dva vzorky jsou již z hloubky 1,5 – 3,0 cm, zde



by měla být vlhkost konstrukce neovlivněna dočasnou změnou okolního prostředí. V místě odběru vzorku jsem změřila vlhkost i kapacitním vlhkoměrem pro porovnání hodnot, při nastavení na hloubku 10 mm byla naměřena hodnota 6,4 % a na hloubku 25 mm hodnota 4,8%.

V laboratoři se vzorky po navážení sušily dva týdny v sušárně při teplotě 70 - 110°C (Obrázek 61). Před každým vážením se vzorek ochladí na teplotu laboratoře. Vzorek se průběžně váží až do konstantní hmotnosti.



Obrázek 61: Odebrané vzorky pro zjištění hmotnostní vlhkosti v sušárně (foto autorka 10. 3. 2016)

Výsledky vážení jsou zaznamenány v následující tabulce (Tabulka 7). Hodnoty hmotnostní vlhkosti u povrchových vzorků jsou velmi rozkolísané od 2,8% do 9,2%. Nízké hodnoty vlhkosti byly zaznamenány u kvalitního betonu, naopak hodnota 9,2 %, která patří již do kategorie vysoká vlhkost, viz hodnocení v předchozí tabulce (Tabulka 6), byla naměřena u části vzorku s nekvalitním betonem. Toto měření jen potvrzuje hypotézu o nehomogenitě konstrukce a důvod zatékání do objektu. Vlhkost většiny konstrukcí nemusí být vysoká, ale nekvalitní části betonu budou nasycené vodou a jen hledají nejnazší cestu k vývěru.



Průměrná hodnota ze všech čtyř měření je 5% a průměrná hodnota po vyřazení nejnižšího a nejvyššího výsledku je 4%. Průměrná hmotnostní vlhkost na povrchu konstrukce je tedy kolem 4%.

Gravimetrické měření vlhkosti				
Číslo vzorku	Hloubka odběru vzorku	Hmotnost vlhký vzorek	Hmotnost suchý vzorek	Hmotnost. vlhkost
		$m_v$	$m_s$	$w$
		[g]	[g]	%
1	vnitřní	56,61	54,32	<b>4,2</b>
2	povrchový	32,01	31,14	<b>2,8</b>
3	povrchový	58,92	53,96	<b>9,2</b>
4	povrchový	24,21	23,34	<b>3,7</b>
5	povrchový	35,19	33,74	<b>4,3</b>
6	vnitřní	8,72	8,38	<b>4,1</b>

Tabulka 7: Výsledky gravimetrického měření vlhkosti

Na vzorcích z větší hloubky je rozdíl naměřených hodnot minimální. Porovnání měření kapacitním vlhkoměrem a měření v laboratoři gravimetrickou je uvedeno v následující tabulce (Tabulka 8). Hodnoty obou měření se shodují s přesností  $\pm 30\%$  v horším případě. Při výpočtu průměrné hodnoty hmotnostní vlhkosti u povrchových vzorků je vyškrtuta nejvyšší a nejnižší hodnota. Hodnota vlhkosti spadá do nejnižší kategorie, kategorie I, nízká vlhkost.

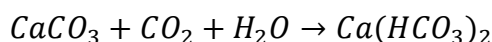
Název vzorku	Gravimetrická metoda		Kapacitní vlhkoměr	
	Hloubka měření	Hmotnost. vlhkost	Hloubka měření	Hmotnost. vlhkost
	[mm]	[%]	[mm]	[%]
povrchový	5-15	5,0	10	6,4
vnitřní	15-30	4,1	25	4,8

Tabulka 8: Porovnání hodnot měření hmotností vlhkosti konstrukcí na místě kapacitním vlhkoměrem a v laboratoři pomocí gravimetrické metody

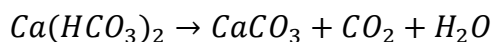


## 8. Vnitřní prostředí

Zkoumaný objekt slouží také jako rekreační budova, měl by tedy splňovat kritéria vnitřního prostředí daná pro pobytové budovy. Měření v interiéru objektu bylo částečně zaměřeno i na tuto problematiku. Vlhkost velmi ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí a to z několika hledisek. Při vyšší vlhkosti více bují mikroorganismy, které mohou následně vypouštět škodlivé spory do vzduchu a negativně ovlivňovat zdravotní stav uživatelů. Vlhkost v konstrukcích za přítomnosti  $CO_2$  rozpouští vápenec, vzniklý hydrogenuhličitán je rozpustný ve vodě.



Při odkapávání takto nasycené vody část  $CO_2$  odejde do ovzduší, jeho koncentrace je tedy vyšší než v suchém prostředí a může být škodlivá. Další reakcí vzniká již nerozpustný vápenec.



### 8.1. Aktuální stav vnitřního prostředí

Hodnocení stavu vnitřního prostředí probíhalo 10. 3. 2016. Objekt byl v této době soustavně obýván již 10. den a to 6 osobami. Měření probíhalo v zimním období, bylo slunečno, slabý vítr, sněhová pokrývka cca 20 cm (Obrázek 62).



Obrázek 62: Dokumentace stavu objektu při měření teploty a vlhkosti vzduchu (foto autorka 10. 3. 2016)





## 8.2. Měření relativní vlhkosti vzduchu

Poškození konkrétního objektu je nejčteněji způsobeno vlivem vlhkosti, z toho vyplývá, že zásadní veličinou, která negativně ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí, bude vlhkost vzduchu.

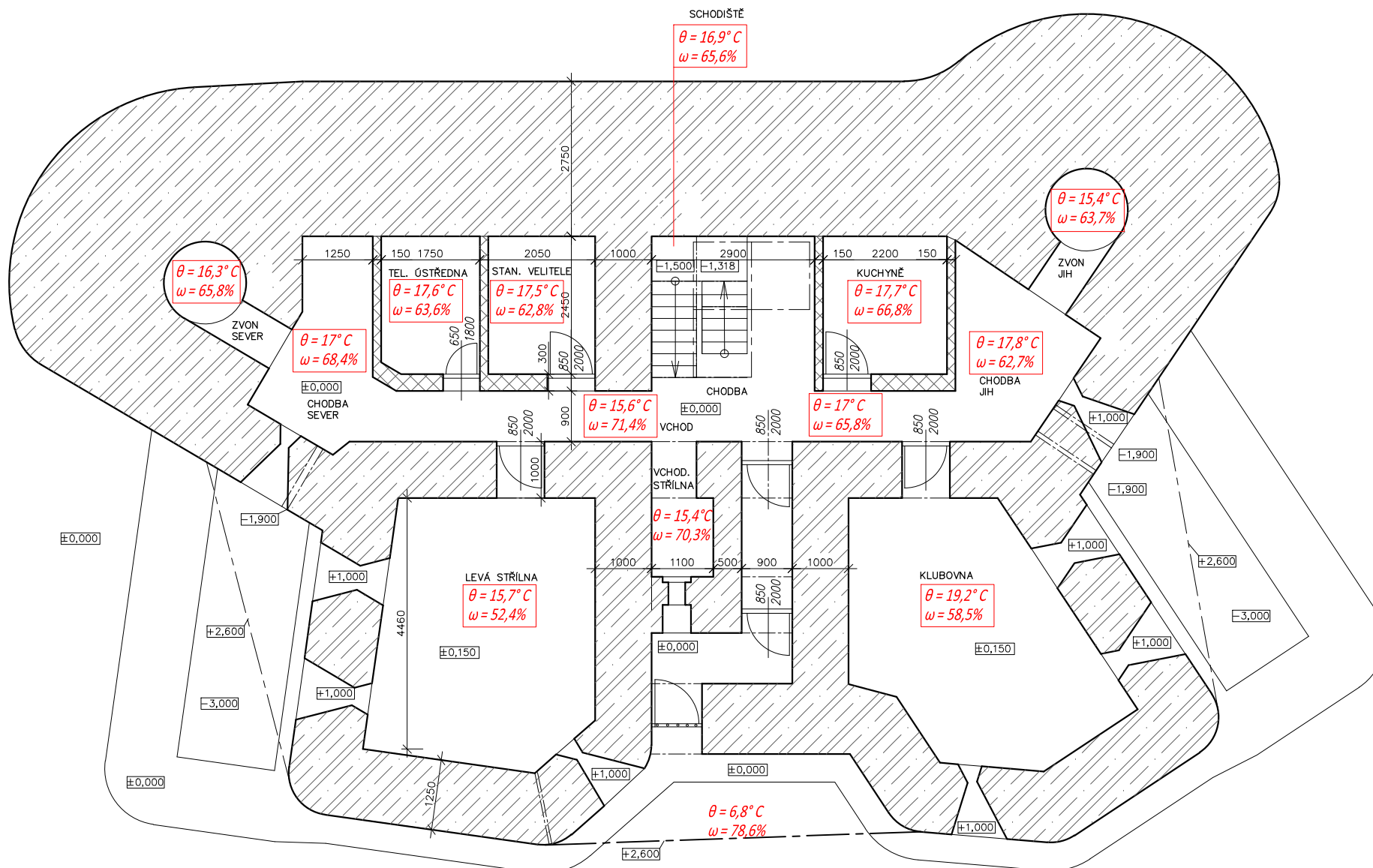
Rozsáhlejší měření bylo provedeno pomocí ručního vlhkoměru a teploměru. Kterým byly změřeny a zaznamenány všechny místnosti v objektu včetně exteriéru. Přesněji bude měření popsáno v následující kapitole. Aby bylo měření přístroje ověřitelné, byly v jedné z místností instalovány dva doplňkové přístroje, dataloggery pro záznam vlhkosti a teploty vzduchu.

### 8.2.1. Měření přístrojem GRESINGER a modelování teplotního pole

Na měření vlhkosti vzduchu byl použit ruční digitální vlhkoměr/teploměr GRESINGER GFTH 95 (Obrázek 63). Přístroj zaznamenává relativní vlhkost vzduchu v procentech v rozsahu 10 – 95% a teplotu vzduchu ve stupních Celsia v rozsahu -20 - 70°C. [25] Vlhkost vzduchu byla měřena ve všech místnostech i v exteriéru. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány ve výkresech (v.č.15, v.č.16).



Obrázek 63: Ruční digitální vlhkoměr/teploměr GRESINGER GFTH 95, měření v ubikaci (foto autorka 10. 3. 2016).



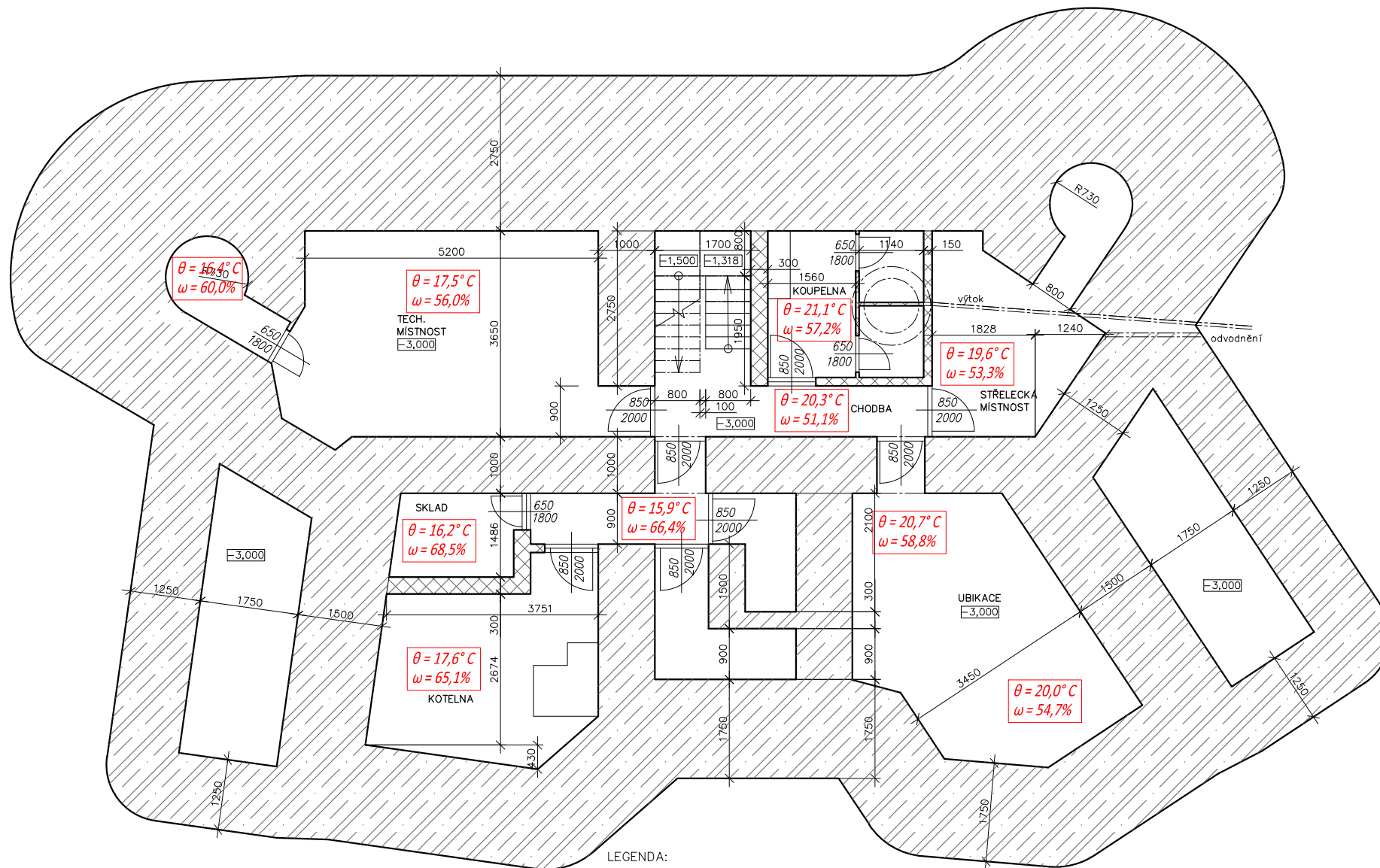
LEGENDA:

$\theta = 6,8^\circ\text{C}$  teplota vzduchu  
 $\omega = 78,6\%$  relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost a teplota vzduchu byla měřena 10.3.2016 ručním přístrojem GREISINGER electronic GFTH 95.

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
MĚŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU	Č.15.
PŮDORYS 1. NP	1:100





LEGENDA:

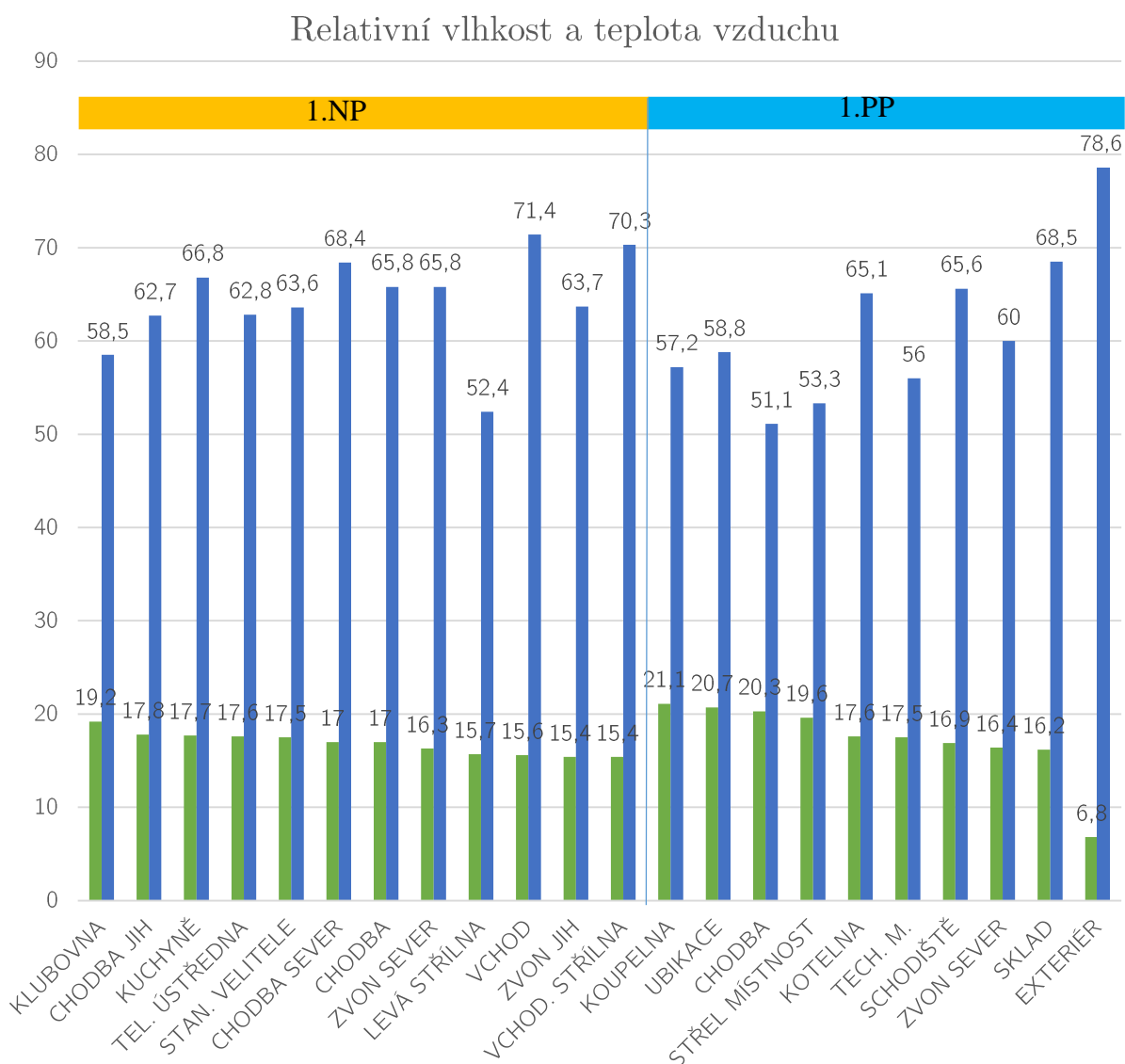
$\theta = 6,8^{\circ}\text{C}$  teplota vzduchu  
 $\omega = 78,6\%$  relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost a teplota vzduchu byla měřena 10.3.2016 ručním přístrojem GREISINGER electronic GFTH 95.

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
MĚŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU	Č.16.
PŮDORYS 1. PP	1:100



Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v následujícím grafu (Obrázek 64). Graf je rozdělen podle pater a seřazen podle teploty vzduchu. Teplota v jednotlivých místnostech je ovlivněna jejich užíváním a s tím souvisejícím umístěním deskových otopných těles. Dlouhodoběji setrvávají návštěvníci pouze v těchto místnostech: klubovna, koupelna, ubikace a střelecká místnost. Na tyto místnosti jsou nejvyšší nároky na tepelnou pohodu. Teploty v těchto místnostech se dle naměřených hodnot, pohybují mezi 19,2 – 21,1°C, splňují kritéria vhodná k dlouhodobějšímu pobytu osob.



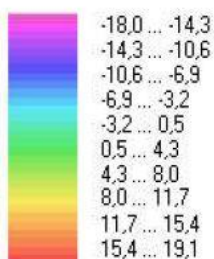
Obrázek 64: Graf naměřených hodnot relativní vlhkosti a teploty vzduchu ručním digitálním vlhkoměrem/teploměrem GRESINGER dne 10. 3. 2016



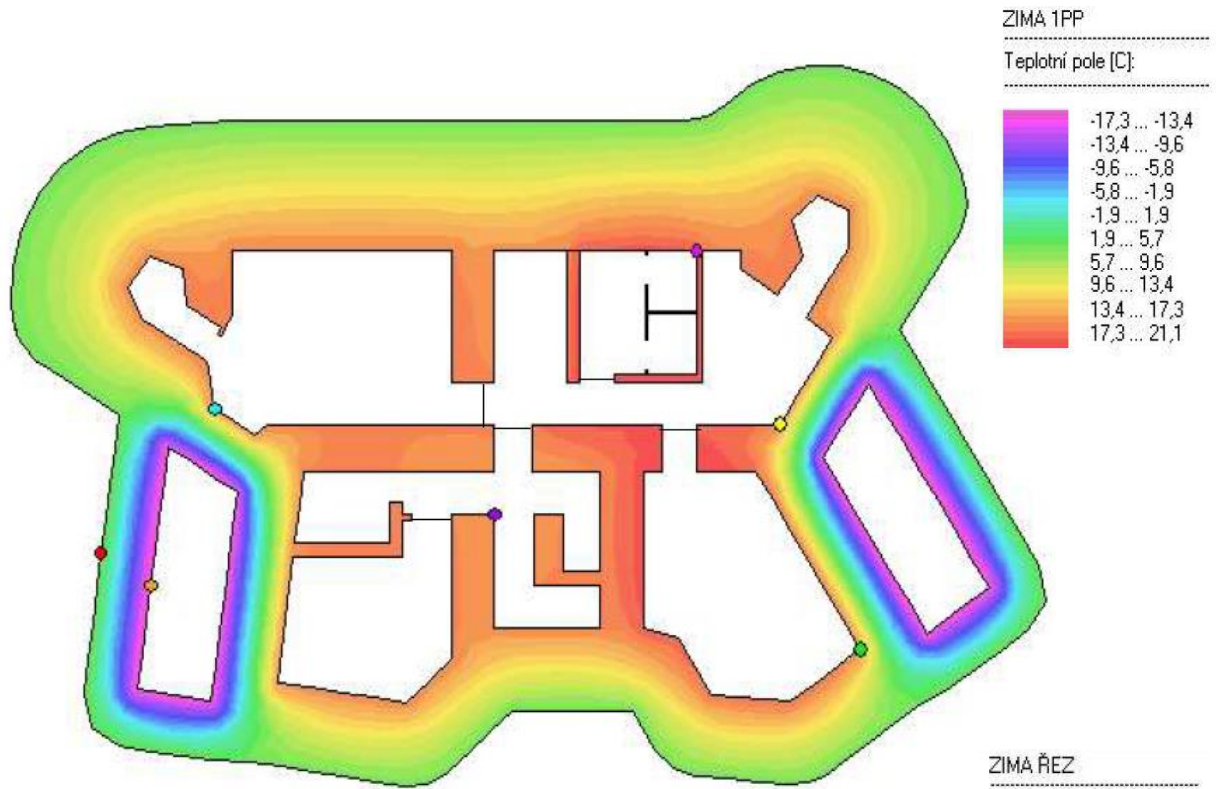
Z naměřených hodnot interiérové vlhkosti a teploty vzduchu jsem namodelovala pomocí programu *Area 2015.1*, *Svoboda Software 2D* průběh teplotního pole v objektu. Okrajové podmínky pro exteriér byly odvozeny podle ČSN 06 0210 a ČSN 38 3350. Interiérové teploty a vlhkosti byly modelovány podle reálného měření z 10. 3. 2016.

ZIIMA 1NP

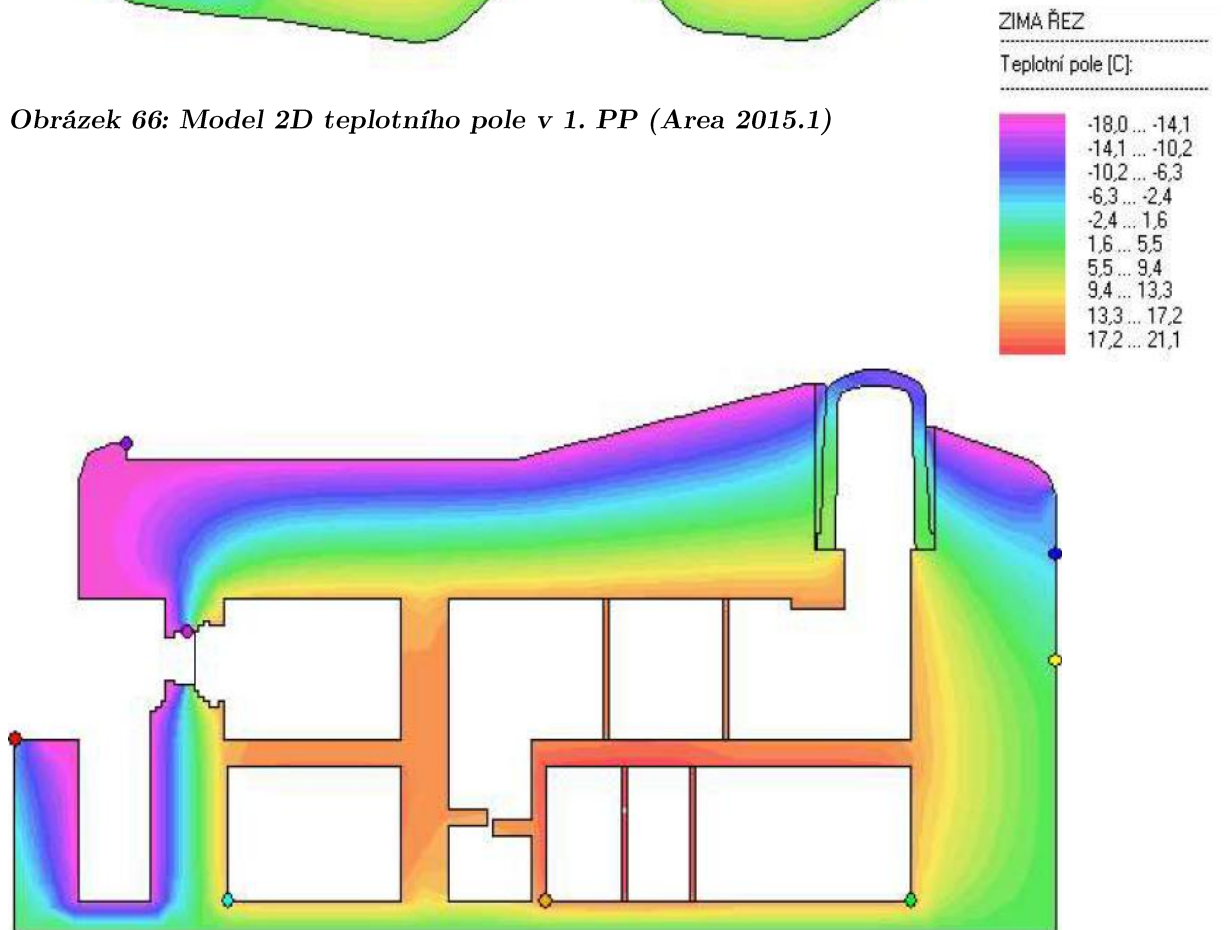
Teplotní pole [C]:



Obrázek 65: Model 2D teplotního pole v 1. NP (*Area 2015.1*)



Obrázek 66: Model 2D teplotního pole v 1. PP (Area 2015.1)



Obrázek 67: Model 2D teplotního pole v 1. PP (Area 2015.1)

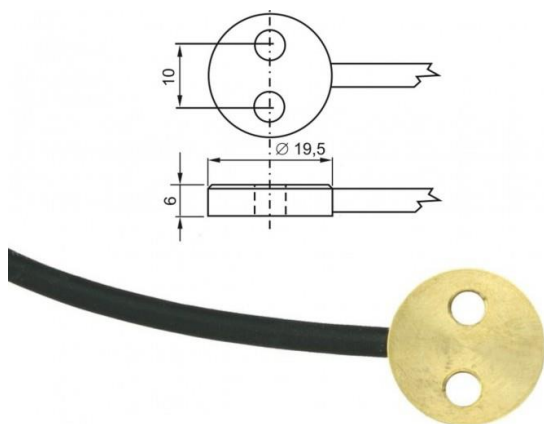


### 8.2.2. Měření přístrojem datalogger COMET

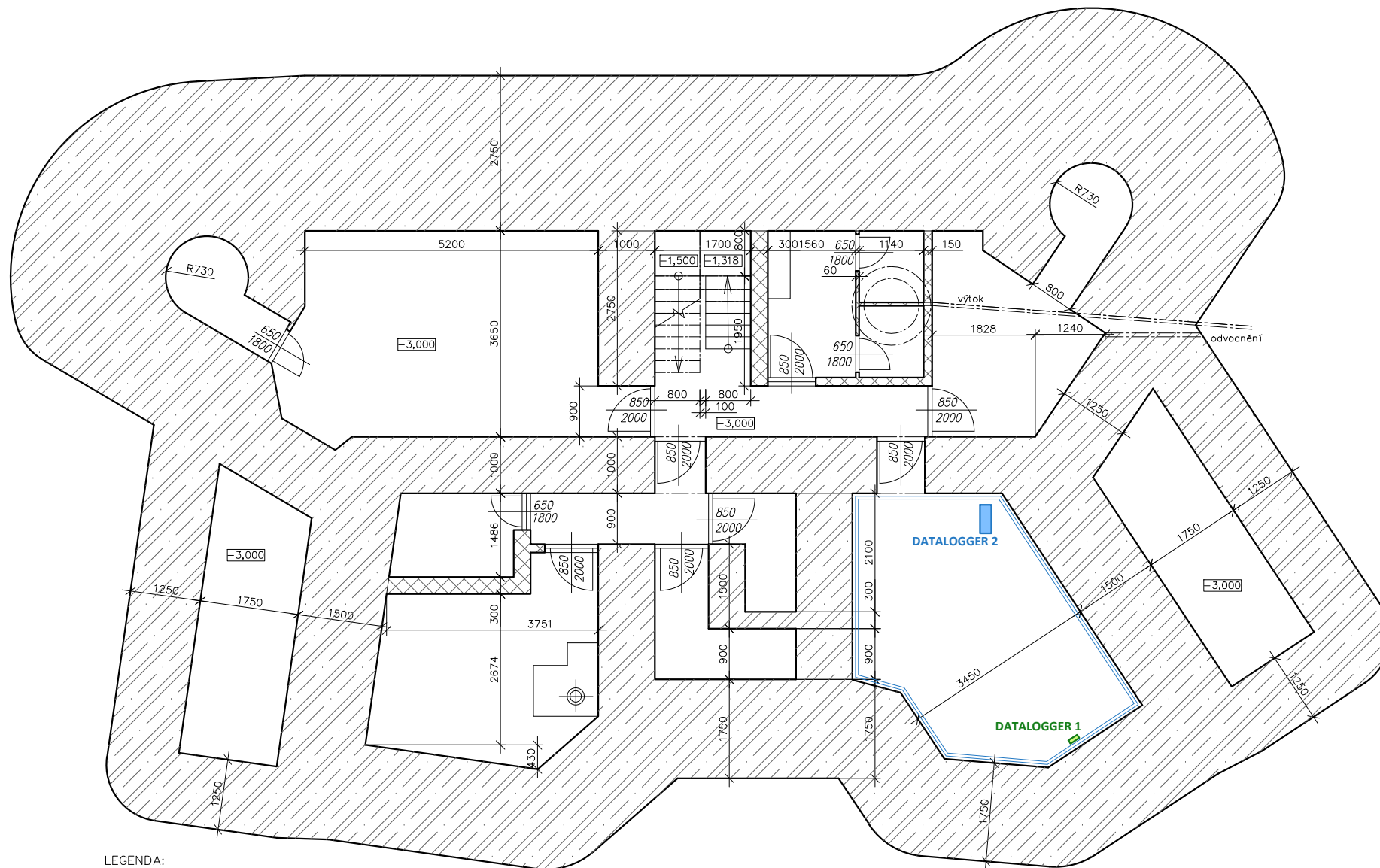
Pro doplnění měření vlhkosti v interiéru byly v ubikaci umístěny dva datalogery. Jejich poloha je zakreslena na výkresu (v.č. 17). V základu mají oba datalogery stejnou funkci, záznam teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Rozdílem je zaprvé jejich umístění v rámci místnosti a zadruhé jejich rozšíření o přídavné sondy.

Datalogger 1 je umístěn v zadní části místnosti, jeho přídavná sonda měří povrchovou teplotu konstrukce. Sonda je upevněna hřebíkem na odhalenou stěnu bez povrchové úpravy ve výšce 1800 mm (Obrázek 69, Obrázek 70). Jedná se o stěnu, skrz kterou vniká do interiéru nejvíce vlhkosti a na kterou bude později aplikováno sanační opatření. Bude zmíněno v kapitole Sanace krystalizačním nátěrem v objektu.

Sonda měří povrchovou teplotu konstrukce v rozsahu teplot  $-30 - 200^{\circ}\text{C}$  s přesností  $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ . Kruhový tvar sondy o průměru 19,5 mm má dva otvory pro upevnění ke stěně (Obrázek 68). [26]



Obrázek 68: Teplotní sonda mosazná pro měření povrchové teploty [26].



LEGENDA:

Datalogger 1 měřil:

relativní vlhkosti vzduchu [%]  
 měrná vlhkost vzduchu [g/kg]  
 teploty vzduchu [°C]

Datalogger 2 měřil:

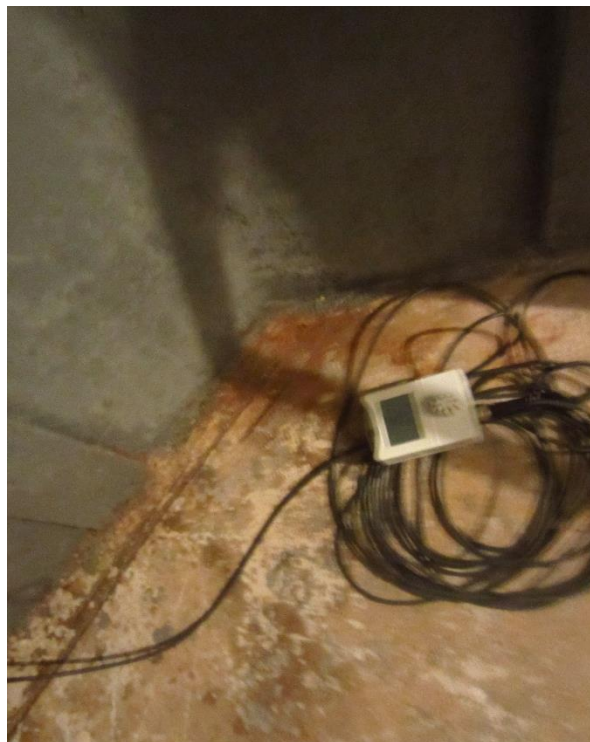
CO2 [ppm]  
 relativní vlhkosti vzduchu [%]  
 měrná vlhkost vzduchu [g/kg]  
 teploty vzduchu [°C]

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
UMÍSTĚNÍ DATALOGGER 1 a 2	Č.17.
PŮDORYS 1.PP	1:100





*Obrázek 69: Teplotní sonda pro záznam povrchové teploty a vlhkosti (foto autorka 10. 3. 2016).*



*Obrázek 70: Datalogger 1 pro záznam relativní a měrné vlhkosti vzduchu a teploty vzduchu napojený na teplotní sondu (foto autorka 10. 3. 2016).*

Datalogger 2 je umístěn v přední části místnosti (Obrázek 71) a je rozšířen o čidlo, které měří koncentraci CO<sub>2</sub> ve vzduchu, tímto měřením se podrobněji zabývá následující kapitola.

Měření oběma přístroji probíhalo cca dvě hodiny s četností záznamu jedenkrát za 10 minut. Z měření se dá vyčíst, zda by mohlo na stěně docházet ke kondenzaci vody. Z vlhkosti a teploty vzduchu naměřené přístrojem datalogger 2 je možné spočítat rosný bod. Povrchová teplota konstrukce byla změřena sondou dataloggeru 1. Pokud je povrchová teplota stejná nebo nižší než rosný bod vzdušná vlhkost může na stěně kondenzovat. V tabulce je zaznamenáno, že ke kondenzaci v tomto místě nejspíše nedojde (Tabulka 9) a to se značnou rezervou.





Tabulka 9: Výpočet možné kondenzace vodních par na stěně, vstupní data z měření datalogger 1 a 2 10. 3. 2016

Čas měření [h:m:s]	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu	Teplota rosného bodu	POROVNÁNÍ	Povrchová teplota	VÝSLEDEK
	D2 [°C]	D2 [%]	výpočet [°C]		D1 [°C]	
11:30:00	18,0	55,6	8,99	^	16,8	NEKONDENZUJE
11:40:00	18,9	56,1	9,96		16,6	
11:50:00	19,5	54,8	10,17		16,0	
12:00:00	20,2	53,3	10,41		15,6	
12:10:00	20,4	51,0	9,93		15,4	
12:20:00	20,3	51,8	10,07		15,2	
12:30:00	20,7	42,8	7,61		15,2	
12:40:00	20,7	38,8	6,18		15,1	
12:50:00	20,9	41,2	7,24		15,1	
13:00:00	20,8	40,2	6,79		15,1	
13:10:00	20,8	41,8	7,36		15,0	
13:20:00	21,0	43,6	8,16		15,0	
13:30:00	21,2	46,3	9,23		15,0	
13:40:00	21,4	44,3	8,76		15,1	

### 8.3. Měření koncentrace CO<sub>2</sub> ve vzduchu

Pro měření hodnot CO<sub>2</sub> byla zvolena místnost ubikace (v.č. 13). Tato místnost slouží k přespávání nejvíce osob v celém objektu, měla by být dostatečně větrána a splňovat hodnoty nižší než koncentrace 1500 ppm. Místnost má objem 43,5 m<sup>3</sup>, je bez oken pouze s dveřmi do chodby, přespává v ní obvykle 6 – 10 osob.

Bohužel nebylo možné zapůjčený přístroj nechat měřit v objektu delší dobu a zkoumat například proměnlivost hodnot CO<sub>2</sub> během noci a dne. Měření probíhalo 10. 3. 2016 od 11:30 do 13:40 s četností měření jednou za 10 minut. Záznam měření provedl přístroj datalogger COMET (Obrázek 71, Obrázek 72).



Obrázek 71: Datalogger COMET pro teplotu a vlhkost, snímač CO<sub>2</sub>; měřeno v ubikaci (foto autorka 10. 3. 2016)



Obrázek 72: Datalogger COMET pro teplotu a vlhkost, snímač CO<sub>2</sub> (foto autorka 10. 3. 2016)

Hodnoty měření jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 10). Datalogger byl umístěn blízko vstupních dveří ve výšce přízemního lůžka. Během měření v místnosti byly přítomny většinou jen 2 osoby. Nejvyšší naměřená hodnota dosáhla 2703 ppm, která je o 80% vyšší než hodnota přípustná normou. Pokud je bráno v úvahu, že tato hodnota byla naměřena při krátkém pobytu dvou osob, v noci při spánku více než 6 osob by mohla být koncentrace CO<sub>2</sub> tak vysoká, že by mohla mít neblahý vliv na zdraví spících osob.

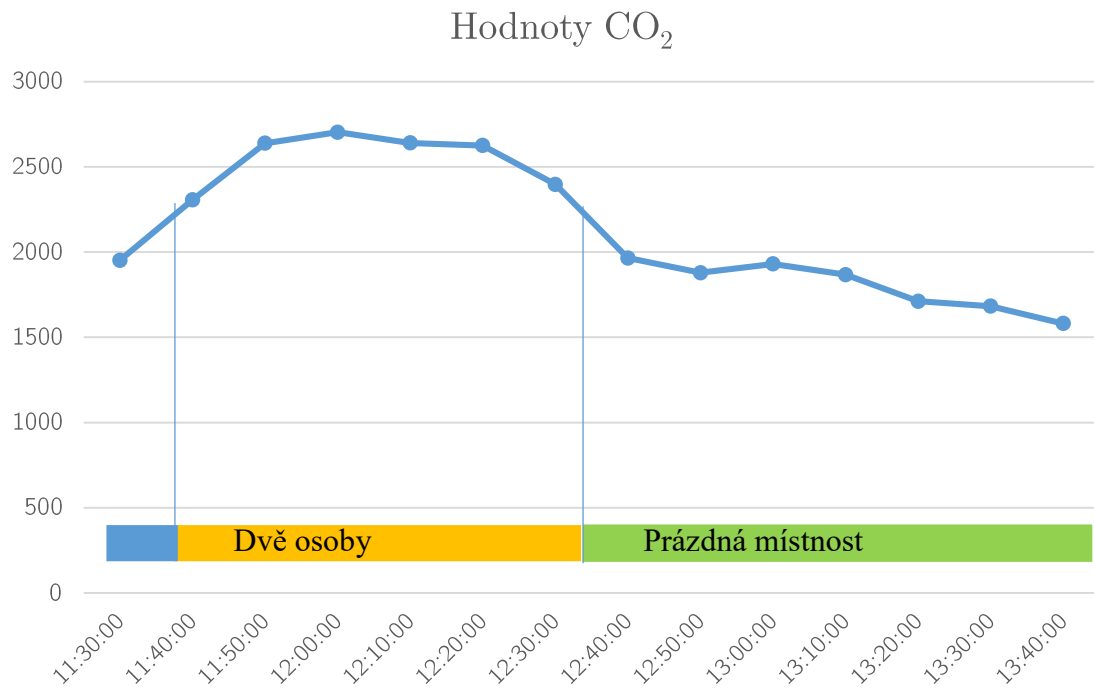
Tabulka 10: Naměřené hodnoty CO<sub>2</sub> ubikaci dne 10. 3. 2016

Záznam hodnot CO <sub>2</sub> v ubikaci															
Čas	[h:m]	11:30	11:40	11:50	12:00	12:10	12:20	12:30	12:40	12:50	13:00	13:10	13:20	13:30	13:40
CO <sub>2</sub>	[ppm]	1952	2306	2638	2703	2640	2625	2397	1965	1879	1930	1867	1711	1682	1581

Přístroj byl spuštěn asi hodinu po probuzení a opuštění místnosti nocležníky. Zpočátku byla frekvence větrání dveřmi vyšší, lidé odcházeli ven a já jsem nosila potřebné vybavení do místnosti. Poté jsme s kolegou asi hodinu v místnosti pracovali na odběru vzorků. Následně byla místnost prázdná až do vypnutí přístroje. Tyto drobné změny v obývání místnosti jsou znatelné zlomy v grafu (Obrázek 73). Nejvyšší hodnoty jsou



naměřeny, když byly v místnosti přítomny dvě osoby. Nemohlo dojít k ovlivnění výsledků, vlivem přímého dýchání na čidlo CO<sub>2</sub>, jelikož bylo umístěno na opačné straně místnosti, než kde se osoby danou hodinu vyskytovaly.



**Obrázek 73 : Záznam průběhu naměřených hodnot koncentrace CO<sub>2</sub> v místnosti ubikace dne 10. 3. 2016**



## 9. Sanační opatření

Hlavním důvodem sanace jsou poruchy objektu způsobené vlivem pronikání vody do konstrukcí. Teoretickým zdrojem zvýšené vlhkosti konstrukcí může být voda srážková, povrchová, podpovrchová, podzemní, zemní vlhkost, voda kondenzovaná, voda provozní a voda zabudovaná.

Po prvotním odhadu mohu vyřadit vodu zabudovanou a provozní, které v objektu být nemůžou vzhledem k jeho stáří a funkčnosti. Dále bych vyřadila vodu kondenzovanou, kondenzaci vody na stěnách jsem vyvrátila výpočtem na základě měření v kapitole Vnitřní prostředí. Vzhledem k masivnosti konstrukcí, ke kondenzaci může dojít pouze v místě střílen, kde voda kondenzuje na ocelových zvonech, které velmi dobře vedou teplo. Jedná se o malé množství tekutiny, která je z objektu přímo odvedena.

Zbývá voda, která se do interiéru dostává, přichází z vnějšího prostředí vlivem srážek nebo vody obsažené v půdě. Masivní konstrukce spolu s drenáží kolem budovy nedostatečně izolují objekt od přístupu vody. Kritických míst vstupu vody je několik, aktuálně není chráněna střešní konstrukce, tu je nutné nejprve zajistit proti průniku vody. Dalším významným zdrojem vlhkosti je voda pronikající do konstrukcí z okolního horninového prostředí, řešením by bylo provedení drenáže a odizolování stěn objektu od zeminy. Třetí cestou je, že voda může vzlínat základem, zde je nejspíše jediným možným řešením aplikace sanačního opatření z interiéru. Pro takto silnou konstrukci není možné použít běžně využívané metody přímého řešení zvýšené vlhkosti. Negativem aplikace sanace z interiéru je neprodloužení životnosti konstrukce, která zůstane trvale zavodněná, ale vyřeší problémy s vlhkostí v interiéru a ostatních navazujících konstrukcích. Vztlínání základem je v tomto případě příčinou nejméně pravděpodobnou. Vodorovná konstrukce ležící na terénu je suchá, bez známek vztlínání vlhkosti. Vlhkost se objevuje nejprve na stěnách, až poté stéká na vodorovné konstrukce.

Přímému řešení vlhkosti v objektu musí předcházet zjištění příčiny zvýšené vlhkosti stavebně technickým průzkumem. Z podkladů o výstavbě vojenských pevnostních objektů víme, že směs byla velmi hutná a tím pádem i špatně promísitelná. Možnosti promísení a vibrování směsi byly omezené, vrstvy betonové směsi se propojovaly pouze propichováním pomocí tyčí. Výstavba probíhala rychle a pod tlakem, dá se předpokládat, že kvalita betonu se nemohla rovnoměrně udržet. Tuto domněnku také opírám o výsledky



vizuálního zkoumání vzorku betonu ze sousedního objektu RS-73, viz kapitola Makrostrukturní analýza.

Nejbezpečnějším řešením je snížit hydrofyzikální namáhání konstrukce. Zásadní by mělo být vytvoření souvislé drenáže kolem objektu. Ačkoli byla drenáž částečně vyřešena pomocí kamenné rovnaniny již při výstavbě, její funkčnost je v současnosti nízká, nejspíše ani odvod vyspádováním nefunguje nejlépe. Řešením by bylo odkopání rovnaniny až k základové desce, následné vyspádování výkopu a položení drenážního potrubí, které by bylo vyvedeno do jámy. Výkop kolem objektu by měl být vyplněn čistým, propraným kamenivem, které bude propustné. Důležité je zamezit průniku hlinitých částic do drenáže, aby nezanesla drenážní potrubí. Celá tato operace by byla velice náročná a nákladná, jelikož se jedná o jámy hloubky až 6 metrů a v tylní části dokonce nemožná, protože se kamenina nachází pod dopravní komunikací, která patří státní organizaci. Obě varianty mají svá pro i proti, je na zvážení, zda zvolit jednodušší variantu s minimem výkopových prací nebo druhou náročnější z exteriéru se všemi potřebnými opatřeními. Nemělo by se také opomenout, že objekt je technickou historickou památkou a sanační opatření by nemělo příliš změnit její vzhled.

Z nashromážděných specifík objektu vychází použití krystalizačních nátěrů jako nejvhodnější sanační opatření. Nátěr se dá aplikovat na konstrukci celoplošně, odolnost proti vlhkosti se přirozeně vylepší v celé ploše a zamezí průniku vlhkosti na hranici dvou směsí betonu různé kvality. Použit lze na svislé i vodorovné konstrukce, což je výhodné obzvláště u oblých přechodů konstrukcí. Aplikace na všechny konstrukce eliminuje vznik konstrukčních detailů, které bývají nejslabším místem všech staveb. Použití nátěru je možné jak z interiéru, tak z exteriéru. Nátěr velmi dobře funguje ve vlhkém prostředí a za přítomnosti vody v konstrukci. Nátěr po aplikaci má většinou „betonový“ vzhled, neboť jeho dominantní složkou je portlandský cement, není tedy nijak rušivý a nemění vzhled stěn. Také je velmi tenký a dá se na něj případně aplikovat maskovací nátěr, který byl pro vojenské objekty té doby typický.

Po vyřešení příčiny zatékání a vysušení objektu se může přistoupit k povrchovým opravám na objektu. Biologickou degradaci je možné odstranit pomocí vysokého tlaku vody, tímto způsobem se odstraní i nesoudržné omítky a vápenné výkvěty. Následně může být povrch pokryt novou finální vrstvou, ta by měla být prodyšná, kvůli přiroze-



nému fungování betonu. Také může obsahovat složky, které zabraňují růstu nových rostlin a lišejníků. [27] Vápenné výkvěty by neměly znovu vznikat, pokud již bude konstrukce suchá.

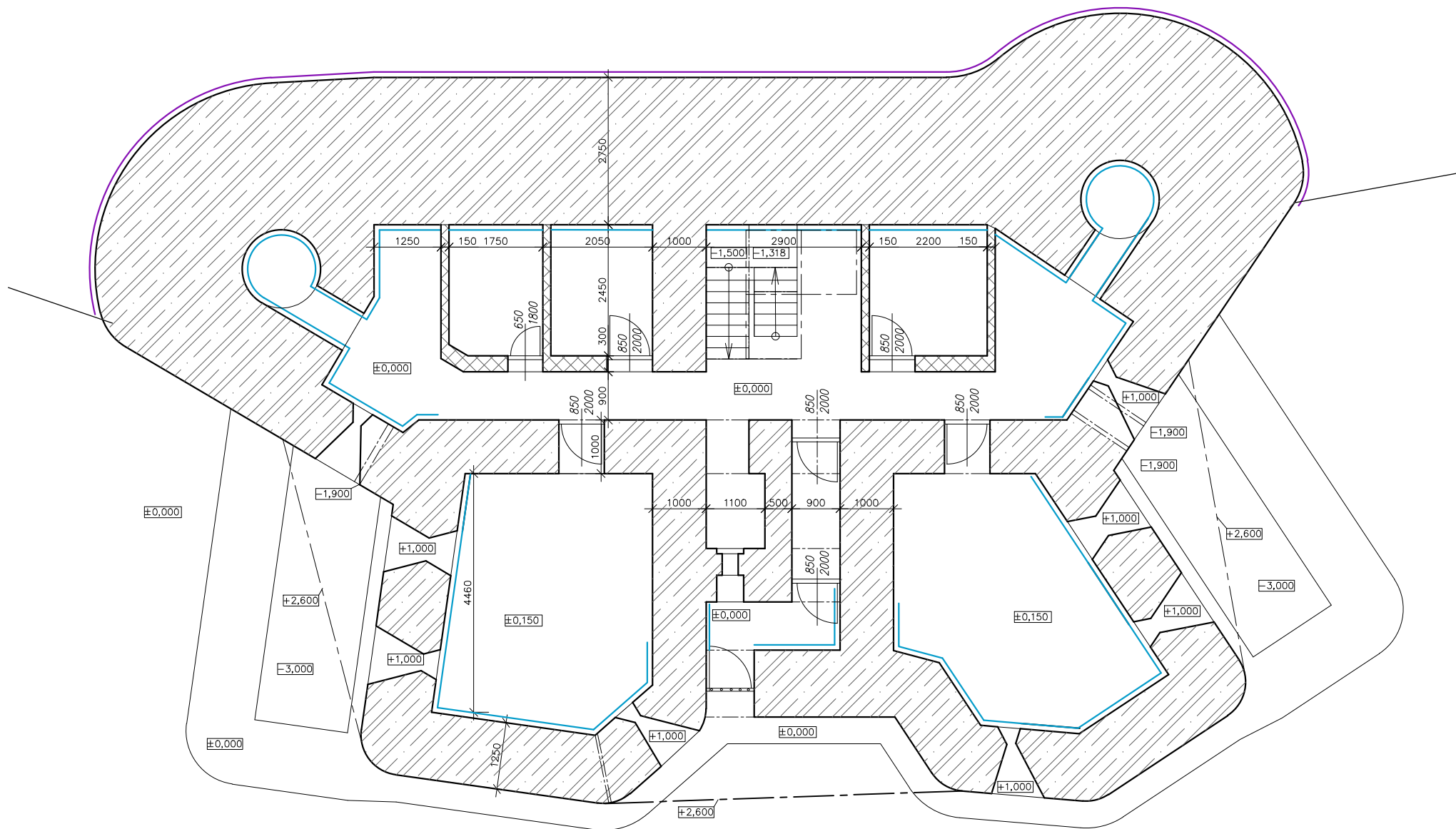
Další závadou jsou lokálně odpadávající části skrývkového betonu na oblině mezi svislou a vodorovnou konstrukcí. Tato místa nefungují ze stejného důvodu jako celá plocha střechy, i zde byl natažen asfaltový pás pod betonovou skrývkou. Pokud jsou obnažena tato místa konstrukce, zatékání bude zákonitě intenzivnější.

Zatékání kolem ocelových zvonů je spíše drobnějším problémem. Pro kontakt betonu a oceli v době výstavby neexistovaly prostředky pro dokonalejší řešení. Dnes by se již styk těchto dvou ploch mohl řešit pomocí značně elastických tmelů. Obnažená výztuž v interiéru je spíše problémem estetickým, než konstrukčním a není předmětem mého řešení.

Navrhuji dvě varianty umístění sanačního nátěru, první varianta počítá se zemními pracemi a umístění nátěru je většinou z exteriéru, druhá je méně nákladná a nátěr je použit v interiéru. Místa nátěru jsou schematicky naznačena v následujících půdorysech a řezech (Výkres, č. 18, č. 19, č. 20, č. 21).

Při sanaci krystalizačními nátěry se musí zajistit, aby byl povrch betonu čistý, zbavený původních nátěrů a povlaků. Dříve než se přistoupí k samotnému nátěru, musí se opravit povrchové vady betonu. U trhlin je nutné vyhodnotit pomocí sádrových terčů, zda je trhlina aktivní či pasivní. V obou případech by se v místě trhliny vysekala spára tvaru U až na zdravý podklad. Povrch by byl zdrsňen, byly by odstraněny všechny nečistoty a vybouraný materiál. Následně by byl povrch natřen 15ti% roztokem kyseliny chlorovodíkové, která by byla po 5 minutách důkladně opláchnuta. Povrch by se nechal nasáknout vodou, přebytečná voda by musela být odstraněna, beton by měl být matný bez kapek vody. Po případném vyspravení trhlin by bylo přistoupeno k plošné sanaci střechy. Povrch určený k aplikaci nátěru musí být důkladně navlhčen, ale nesmí po něm stékat voda. Nátěr vytvoří přibližně vrstvu tloušťky 1,2 mm, je nutné se řídit přesnými pokyny výrobce daného nátěru. Vrstva by neměla být o mnoho slabší, ale ani silnější. Druhá vrstva by byla nanášena poté, jakmile první nanášená vrstva zavadne, avšak je ještě čerstvá, tzn. většinou po 1–2 hodinách. Nový povrch potřebuje jemný postřík vodou během zrání, které začne ihned po ztvrdnutí povrchu a bude aplikováno 3krát denně po dobu 2 dnů. Po 4–5 týdnech je možné nátěr upravit z estetických důvodů, pokud by neodpovídal požadavkům na původní vzhled. [28]



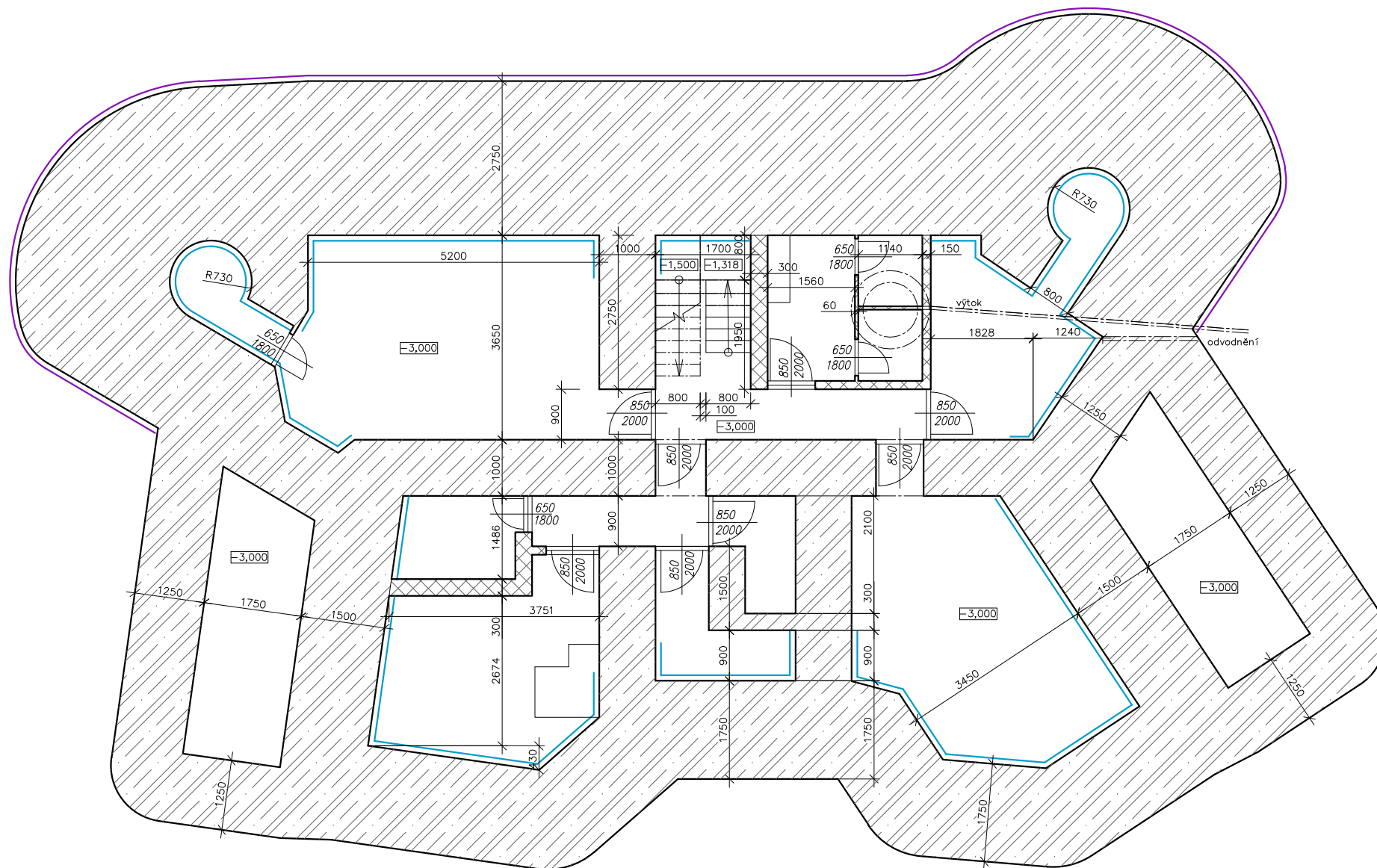


LEGENDA:

— VARIANTA I. S NÁTĚREM  
STŘECHY A ODKOPÁNÍM TERÉNU

— VARIANTA II. S NÁTĚRY POUZE Z INTERIÉRU  
Označená místa se natírají od podlahy  
až ke stropu. V tomto případě se počítá  
s odstraněním stávajícího ocelového  
obložení a natření i pod ním.

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
APLIKACE KRYSALICKÉHO NÁTĚRU	Č.18.
PŮDORYS 1. NP	1:100

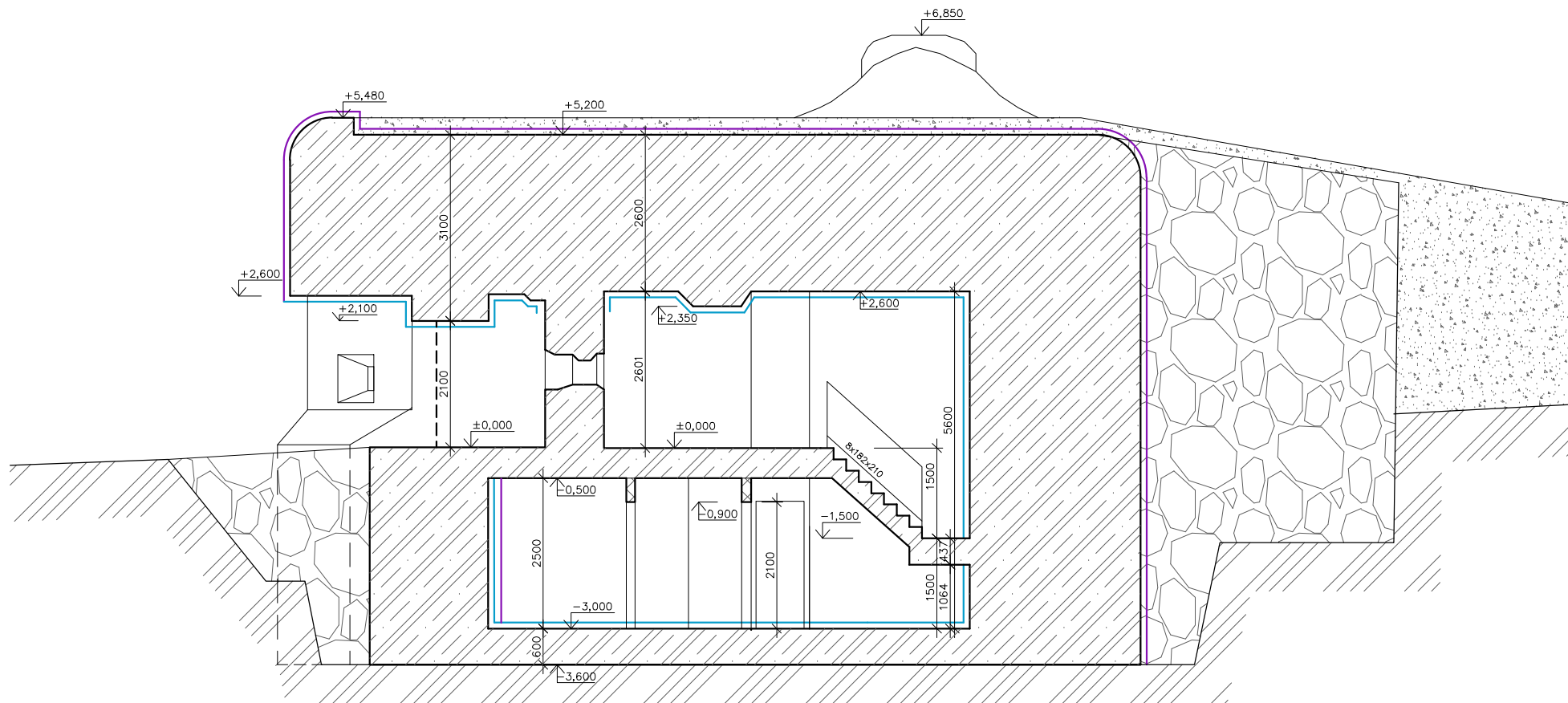


LEGENDA:

— VARIANTA I. S NÁTĚREM  
STŘECHY A ODKOPÁNÍM TERÉNU

— VARIANTA II. S NÁTĚRY POUZE Z INTERIÉRU  
Označená místa se natírají od podlahy  
až ke stropu. V tomto případě se počítá  
s odstraněním stávajícího ocelového  
obložení a natření i pod ním.

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
APLIKACE KRYSTALICKÉHO NÁTĚRU	Č.19.
PŮDORYS 1. PP	1:100

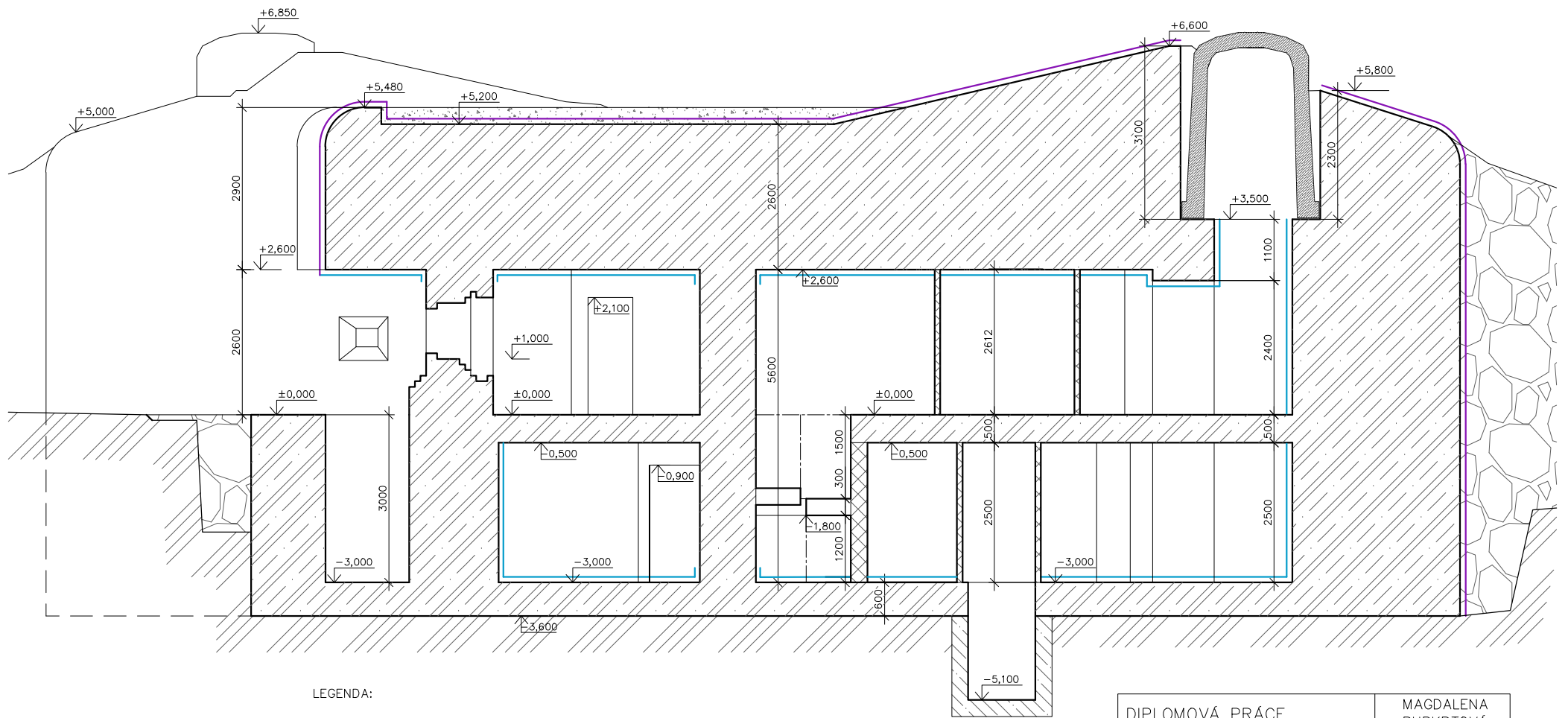


LEGENDA:

— VARIANTA I. S NÁTĚREM  
STŘECHY A ODKOPÁNÍM TERÉNU

— VARIANTA II. S NÁTĚRY POUZE Z INTERIÉRU  
Označená místa se natírají od podlahy  
až ke stropu. V tomto případě se počítá  
s odstraněním stávajícího ocelového  
obložení a natření i pod ním.

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
APLIKACE KRYSALICKÉHO NÁTĚRU	Č.20.
ŘEZ B B'	1:100

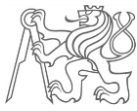


LEGENDA:

— VARIANTA I. S NÁTĚREM  
STŘECHY A ODKOPÁNÍM TERÉNU

— VARIANTA II. S NÁTĚRY POUZE Z INTERIÉRU  
Označená místa se natírají od podlahy  
až ke stropu. V tomto případě se počítá  
s odstraněním stávajícího ocelového  
obložení a natření i pod ním.

DIPLOMOVÁ PRÁCE	MAGDALENA PURKRTOVÁ
APLIKACE KRYSALICKÉHO NÁTĚRU	Č.21.
ŘEZ A A'	1:100



## 10. Krystalizační nátěry

Krystalizační nátěry jsou materiály vytvořené na bázi cementu se speciální přísadou. Nátěr svým hloubkovým účinkem plošně zamezuje průsaku v betonových konstrukcích. V dnešní době je na trhu množství nátěrů tohoto typu. Pro testování jsem zvolila kanadský výrobek *XYPEX*, který je obecně uznávaný jako jeden z nejkvalitnějších.

Krystalizační nepropustné materiály *XYPEX* jsou kompozity prášku, který se skládá z portlandského cementu, velmi jemného upraveného křemičitého písku a z mnoha aktivních zvláštních chemikálií, jejichž druh a dávkování je tajemstvím výrobce. Před použitím se tato směs smíchá s vodou, čímž se vytvoří kašovitá hmota pro aplikaci na povrch betonu ve formě nátěru nebo nástřiku. Po smíchání s vodou a nanesení na povrch betonu některou z uvedených forem vyvolají chemikálie obsažené v tomto materiálu katalytickou reakci, jejímž důsledkem je tvorba nerozpustných vláknitých krystalů v pórech a kapilárách betonu. Tím se beton trvale zacelí proti průsakům vody a jiných kapalin v jakémkoli směru. Je třeba zdůraznit, že primární funkce krystalizačního nátěru není v ploše nátěru, nátěr je v podstatě nosičem aktivních chemických látek, které vyvolávají těsnicí krystalizaci v hmotě sanované betonové konstrukce. Druhotně napomáhá utěsnění konstrukce i nátěr samotný. [28]

Výsledek aplikace nátěru je stálý. Vytvořené vláknité krystalické formace se vzhledem ke své jedinečné kompozici za normálních podmínek neporuší. Další výhodou je nepřímá ochrana proti agresivní vodě. Účinek chloridů, síranů, sirovodíků, kyslíčnitého uhlíkatého a jiných chemických látek na beton je totiž podmíněn přítomností vody. Ochrana betonu nespočívá ve zvýšení chemické odolnosti cementového kamene, ale v utěsnění všech kapilár a pórů, které brání vodě a těmto chemickým látkám do betonu pronikat. Pokud se přesto stane, že roztoky těchto látek proniknou pod povrch betonu, *XYPEX* bude reagovat s roztokem a spotřebovávat jeho vodu k dotěsnění těchto cest další krystalizací. Agresivní škodlivé látky zůstanou zablokované v tenké povrchové vrstvě o síle několika milimetrů a nebudou schopny se dále pohybovat. Proto beton ošetřený krystalizačním nátěrem může mít na svém povrchu některé agresivní složky, a přesto nedojde ke korozi výztuže. [28]



### **Výhody krystalizačních nátěrů proti povlakovým izolacím:**

- nepotřebuje pro svou aplikaci suché prostředí, naopak vyžaduje vlhkost nezbytnou k růstu krystalů
- před svou aplikací nepotřebuje náročnou povrchovou úpravu betonu (vyrovnávání apod.)
- nedá se prorazit, roztrhnout, probodnout anebo porušit ve švech
- zacelí praskliny až do 0,4 mm
- není třeba chránit proti poškození při zásypech zeminou kolem základů nebo při montování výztuže, zámečnických prvků apod.
- je to časově méně náročný druh izolace a v porovnání s povlakovými izolacemi lze jeho aplikaci snížit náklady
- je možno aplikovat z pozitivní i negativní strany tlaku vody, zvenku i zevnitř
- zabrání průniku škodlivých látek (vody, chloridů, síranů) do betonu, čímž prodlužuje jeho životnost
- jeho aplikace mezi konstrukční vrstvy neohrožuje stabilitu a pevnost vůči smykovým silám [29]





## 11. Laboratorní zkoušky účinnosti krystalizačních nátěrů na betonu starém 80 let

Krystalizační nátěr byl aplikován na vzorky betonu z vojenského pevnostního objektu z 30. let s dostatečným předstihem, aby se stačil projevit funkční princip sanace. Poté byly vzorky podrobeny zkoušce vodonepropustnosti. Zkouška byla provedena na čtyřech vzorcích betonu, z nichž jeden byl bez nátěru a slouží jako vzorek referenční.

### 11.1. Úprava vzorků v laboratoři

Pro testování byl vybrán vzorek ze střechy pěchotního srubu R-73 (Obrázek 74). Podrobněji byl přesný původ vzorku popsán v kapitole Zkoumaný vzorek. Na fotografii je vidět různorodé složení betonu. Tmavé části z hutné směsi a světlejší část z méně kvalitní směsi. Na základě tohoto složení je vzorek rozdělen na čtyři přiměřeně stejně velké části se stejným rozložením těchto dvou směsí. Aby byly vzorky rovnocenné (Obrázek 75). Nátěr vzorků probíhal 24. 4. 2015 v 9:00 ráno.



Obrázek 74: Testovaný vzorek v celku (foto autorka 3. 4. 2015)



Obrázek 75: Vzorek rozdělen na čtyři podobně velké kubické formáty (foto autorka 24. 4. 2015)

Na hladkém řezu je viditelné kamenivo poměrně velké frakce a pevnosti, nejspíše se jedná o žulu. Betonová směs kolem je velmi hutná až na oblasti s méně kvalitní betonovou směsí. Tato směs je světlejší, na řezu je povrch hrubší, často se v ní vyskytují velké póry. Řezné plochy na vzorcích jsou nyní velmi hladké a přilnavost krystalizačního nátěru by tím byla snížena. Povrch vzorku musel být oškrábán ocelovým kartáčem, tím se otevrou drobné póry a nátěr bude moci lépe prorůst hlouběji do struktury betonu. Tři ze čtyř vzorků byly opatřeny nátěrem *XYPEX Concentrate* o tloušťce cca 1,25 mm (Obrázek 76). Po zavadnutí nátěru byly všechny čtyři vzorky přesunuty do nádoby se stálou vzdušnou vlhkostí. Zde se ponechaly krystaly nátěru narůstat (Obrázek 77).



Obrázek 76: Tři ze čtyř vzorků byly opatřeny krystalizačním nátěrem (foto autorka 24. 4. 2015)



Obrázek 77: Nátěr se nechá na vzorcích působit ve speciální nádobě (foto autorka 24. 4. 2015)

## 11.2. Měření

Standartní zkouška vodonepropustnosti dle metodiky ČSN EN 12390-8 probíhá 72 hodin pod tlakem 0,5 MPa na krychli 150x150 mm. Podmínky metodiky byly splněny až na přesnou velikost vzorku, tu bohužel nebylo možné dodržet vzhledem k dostupným možnostem odbírání vzorků.

Samotná zkouška začala 25. 4. 2016 v 9:30, tedy téměř přesně rok po natření vzorků krystalizačním nátěrem. Doba působení nátěru by měla být dostatečná. Vzorky nejsou ze všech čtyř stran ohraněné je třeba je před upevněním do přístroje vyrovnat dřevěnými špalíky. Zkoušeny byly tři vzorky, dva byly opatřené nátěrem a třetí vzorek je referenční, bez nátěru.





Obrázek 78: Vodotlačná stolice s měřenými vzorky, zleva dva s nátěrem a poslední referenční bez nátěru (foto autorka 25. 4. 2016)

Po uplynutí doby testování jsem vzorky vyjmula z přístroje. Na povrchu není vidět ani u jednoho z nich průsak vody. Pro lepší viditelnost jsou vzorky rozštípnuty (Obrázek 79). Na referenčním vzorku je vidět nehomogenita směsi, části betonu jsou značně světlejší zbylá většina plochy je tmavší. Na hranici těchto ploch je viditelný průsak vody do značné hloubky (Obrázek 80). Tmavou plochou voda prosakuje minimálně. Vzorek opatřený nátěrem je zdokumentován na Obrázek 81. Celá rozštípnutá plocha je suchá, voda do vzorku nepronikla. Přestože jsou i na tomto vzorku zřetelné plochy světlé nekvalitní směsi betonu i směs tmavší voda do vzorku přes nátěr nepronikla.



Obrázek 79: Rozdělení vzorku s nátěrem pro posouzení hloubky průsaku (foto autorka 28. 4. 2016)



Obrázek 80: Rozštípnutý referenční vzorek bez nátěru (foto autorka 28. 4. 2016)





Obrázek 81: Vzorek s nátěrem po 72 hodinách ve vodotlačné stolici (foto autorka 28. 4. 2016)

### 11.3. Závěr laboratorního měření

Měřeny byly čtyři vzorky, tři z nich opatřené nátěrem, který působil natřený na vzorcích rok. Jsem si vědoma, že počet vzorků nebyl dostatečný, bohužel odběr vhodných vzorků je náročný.

Doba působení nátěru na vzorcích byla více než dostatečná pro všechny fyzikálně chemické projevy nátěru. Po této době se na povrchu nátěru neprojevila žádná vada způsobená chemickou nekompatibilitou složení betonu a krystalizačního nátěru. Povrch nátěru zůstal hladký bez nárůstu makrokrytalů. Ověření nátěru v laboratoři je důležité před samotnou aplikací nátěrů na konkrétní objekt, je již předem známé, že nedojde k nežádoucím projevům. Nátěr zamezil vniknutí tlakové vody do vzorku v obou zkušebních případech, jeho funkčnost se potvrdila.





## 12. Sanace krystalizačním nátěrem v objektu

Nátěr v objektu jsem aplikovala v srpnu roku 2015 v rámci svého předdiplomního projektu pod vedením konzultantů práce (Pazderka; Reiterman). Byl použit krystalizační nátěr *XYPEX Patch'n Plug*, který slouží hlavně k rychlému zatmělení míst s protékající vodou. Jižní suterénní stěna byla hodnocena jako nejproblematictější z hlediska vlhkosti. Proto byl zkušební nátěr aplikován právě na ni. Stěna ústí do místnosti, kde se denně musí odčerpat několik litrů vody. Jedná se o obývanou místnost.

### 12.1. Aplikace nátěru na jižní suterénní stěnu

Sanovaná stěna je pokryta plechovými pláty, které bylo třeba nejprve odstranit a odhalit surový beton. Pláty jsou umístěny po celé výšce stěny, s odhalováním jsem začala uprostřed plochy stěny, v místě vápenného výkvětu (Obrázek 82). Zjišťuji, že pláty nejsou jen krytím betonové stěny, ale jsou ztraceným bedněním. Svislé příčle jsou vlastně masivními „I“ nosníky zabetonovanými hluboko do stěny a do základu. Samotné pláty jsou 4 mm silné a z obou stran zasunuté asi 4 cm pod příčle. Jejich odstranění je velmi náročné. Nebude tedy možné na zkušební nátěr odhalit celou stěnu.



Obrázek 82: Vápenný výkvět na jižní suterénní stěně (foto autorka 4. 8. 2015)

Pláty byly odřezány ocelovým kotoučem po jejich obvodu, svislé stojny bohužel nebylo možné odstranit. Po odstranění prvních plátů v místě výkvětu byla odhalena značně vlhká stěna s vodou na svém povrchu (Obrázek 83). A to i v suchém letním období po měsíci bez dešťových srážek.



Obrázek 83: Odhalená stěna v místě vápenného výkvětu (foto autorka 4. 8. 2015)



Povrch odhaleného betonu byl velmi nerovnoměrný, místy pórovitý a místy hutný, některé části byly z nekvalitní drolící se směsi betonu. Po celém povrchu byly drobné naplaveniny od protékající vody. V pravé horní části byl beton velmi nekvalitní, dal se drolit prsty a obsahoval malé množství pojiva. Jelikož byla viditelná jen část nekvalitního úseku, byl odstraněn další plát umístěný výše (Obrázek 84).



Obrázek 84: Nekvalitní beton pod místem vápenného výkvětu (foto autorka 4. 8. 2015)

Drolící se povrch betonu pokračoval nahoru, největší část byla v místě pod svislou stojnou, toto místo bohužel nebylo přímo dostupné. Pravá strana odhalené stěny postupně vysychala, levá zůstávala stále vlhká. Místo pod stojnou setrvalo nejvlhčí, voda odsud téměř vytékala. Při vrtání hlouběji k soudržnějšímu betonu, voda tryskala. Voda na toto místo stékala shora po ocelové výztuži. Odvrtné části byly vyčištěny a voda byla ponechána volně odtékat (Obrázek 85). Stěnu jsem pozorovala příštích 24 hodin.



Obrázek 85: Místo kudy voda proniká do interiéru v největším množství (foto autorka 4. 8. 2015)

Po uvolnění nejsnadnější cesty pro odtékající vodu z vyhloubeného otvoru, začala levá část odhalené plochy osychat a voda odtékala podél svislé stojny zprava. Přes noc na podlaze přibyly asi 3 cm vody. Další den byly odhaleny i další dva pláty nad již obnaženou zdí. Povrch betonu v těchto místech byl opět pórovitý, ale stěna byla suchá, voda nejspíše odtékala prostorem pod nimi (Obrázek 86) a zde se již nezůstává. Bylo by vhodné stěnu pozorovat delší dobu, bohužel časové možnosti nejsou dostačující z důvodu omezené doby pobytu v objektu.





Obrázek 86: Odhalená stěna, spodní část je již zdrsňena pro aplikaci nátěru (foto autorka 4. 8. 2015)

Jelikož nebylo možné aplikovat nátěr souvisle na celou plochu, hrozilo, že při lokální aplikaci by si voda v konstrukci našla jinou cestu. Po jistém čase by mohla začít protékat do interiéru pod neodhaleným plátem. Situace by se mohla stát horší, než byla v době sanace. Zvolila jsem variantu připravit pro vodu nejsnazší cestu odtoku a okolní části utěsnit krystalizačním nátěrem.

Před aplikací krystalizačního nátěru bylo nutné povrch zdrsňit a následně dobře očistit od všech nečistot a uvolněných částí. Povrch stěny před nátěrem by měl být dobře namočen, aby byl nasycen vodou, ale byl bez kapek vody. Krystalizační nátěr jsem připravila podle návodu smícháním s pitnou vodou v poměru 3,5 : 1 sypké směsi a vody. Poté jsem nátěr musela nanést velmi rychle, výrobek *XYPEX Patch n' Plug* tuhne přesně do tří minut. V následujících 48 hodinách jsem nátěr udržovala ve vlhku. Nátěr jsem aplikovala jen na plochu cca 1 m<sup>2</sup>, viditelné v následujícím obrázku (Obrázek 87).



Obrázek 87: Krystalizační nátěr aplikovaný na sanovanou stěnu (foto autorka 5. 8. 2015)

V následujících dvou dnech jsem nátěr občasně vlhčila. Voda si opravdu našla cestu připraveným prostorem bez nátěru, aby voda neodtékala po stěně, umístila jsem do otvoru hadici, která svádí vodu do připravené nádoby.

## 12.2. Pozorování

Stav nátěru jsem pozorovala v následujících dnech po aplikování nátěru, když jsem byla stále přítomná v objektu. Další zprávy o postupu vlhkosti jsem měla od jeho návštěvníků. Informace jsem získávala, buď pouze slovní, nebo doplněné fotodokumentací (Obrázek 88).

V následujících hodinách po aplikaci nátěru je v místnosti sucho, ale voda do připravené nádoby neodtéká, jedná se jen o občasné odkápnutí. Po dalších čtyřech dnech je v místnosti stále sucho a voda začíná odtékat do nádoby. V příštích dvou měsících bylo v sanované místnosti stále sucho, pouze byla upravena hráz nad odtokovou hadicí. Aby se zabránilo odkapávání, nahromaděné tekutiny u odtokové hadice, přes hráz na stěnu s nátěrem.





V prosinci byla v rohu místnosti voda, je zdokumentována na následujících obrázcích (Obrázek 88). Voda byla jen na povrchu podlahy, místo zdroje nebylo identifikováno. Při porovnání sanované místnosti s jejím stavem před sanací, kdy zde bývalo ve stejném ročním období násobně více vody, se jedná o úspěšné opatření.

V lednu v objektu nadále přetrvává sucho, koncem února byla na podlaze zaznamenána voda, ale s největší pravděpodobností pouze přetekla ze sběrné nádoby. Po vysušení se voda v dalších 14 dnech neobjevila, ale objekt je souvisle obýván a vytápěn, docházelo by k jejímu rychlému odparu. Největší hydrofyzikální zátěž konstrukcí bývá v období tání sněhu. Všechna dosavadní pozorování jsou shrnuta v tabulce (Tabulka 11).

*Tabulka 11: Záznam pozorování stavu stěn, podlahy a sběrné nádoby v období 7 měsíců po nátěru*

Datum	Stav stěny	Stav podlahy	Odtok vody
5. 8. 2015	vlhčena	mírně vlhká	neodtéká
9. 8. 2015	suchá	suchá	odkapává
13. 9. 2015	suchá	suchá	odkapává
9. 10. 2015	suchá	suchá	zvýšena hráz, upevněna hadice
4. 12. 2015	suchá	mokrá v rohu	odkapává
28. 1. 2015	suchá	suchá	odkapává
29. 2. 2016	suchá	mokrá pod nádobou	voda přetekla sběrnou nádobu
10. 3. 2016	suchá	suchá	odkapává



Obrázek 88: První známka protékání vody mimo odvodnou trubku (foto autorka 4. 12. 2015)

### 12.3. Výsledky sanačního opatření

Závěr posouzení bych rozdělila na dvě části. Prvotním plánem bylo ověřit funkčnost nátěru v terénních podmínkách, jak se bude nátěr projevovat v průběhu času na stěně poškozené vlhkostí. Druhou částí bylo přímo sanační opatření, při kterém nebyla voda celoplošně zastavena, ale naopak jí byl umožněn řízený odtok.

Krystalizační nátěr byl v objektu aplikován pouze na malou zkušební plochu, ale výsledky opatření jsou i tak patrné. Nátěr zastavil vsakující se vodu ze stěny okamžitě po nanesení. Během pozorování se jeho funkčnost nezměnila a na jeho povrchu nedošlo k výkvětům ani k tvorbě makrokystalů. Krystalizační nátěr funguje, nejen při použití v laboratorních podmínkách, ale i při aplikaci na stěnu poškozenou vlhkostí. Sanační opatření bylo spíše experimentální, ale jeho účinnost prozatím velmi dobře funguje. V objektu je sucho a voda odtéká připravenou cestou. Místo sanace bude i nadále pozorováno a pokud se jeho účinnost nezmění negativním směrem, bude řešen odtok vody elegantnějším návrhem.



## 13. Závěr

Výsledkem mé diplomové práce je kromě rešerše konstrukčního řešení vojenských pevnostních objektů z 30. let 20. století zejména stavebně technický průzkum konkrétního vybraného objektu, který vyústil v návrh sanačního opatření pomocí krystalizačních nátěrů, který byl pro daný případ nejvhodnější. Vhodnost sanačního opatření byla potvrzena testováním v laboratoři i vyzkoušením přímo na objektu. Podle výsledků měření vlhkosti konstrukcí, docházím k závěru, že díky nekvalitním místům, které jsou v celé mocnosti konstrukce a jsou nasycené vodou, je objekt poškozen vlhkostí.

Kvalitní části betonu jsou obsaženy v poměrně většině stavebních konstrukcí a jsou téměř vodonepropustné, přesto je četnost nekvalitních míst dostatečná pro propuštění vlhkosti do interiéru ve vysoké míře. Nebyly zde lokalizovány konkrétní trhliny ani vady v konstrukci, které by přímo propouštěly vodu. Příčinou zatékání je téměř jistě nehomogenita betonu v obvodových stěnách. Tento fakt je podpořen analýzou zkušební vzorku odebraného betonu, který sice není dostatečně vypovídající o celé konstrukci, ale je na něm zřetelně viditelný možný postup vlhkosti. Nehomogenitu konstrukce lze zejména přičíst podmínkám improvizované a velmi rychlé výstavby, které neumožňovaly zajistit dostatečně vysokou kvalitu betonu v celé ploše konstrukce. Nemohlo dojít ani k dostatečnému propojení vrstev, vznikajících při betonáži. K nehomogenitě složení směsi konstrukcí také bohužel přispělo použití zavlhle směsi betonu, složení směsi s minimálním vodním součinitelem má při dodržení určité kvality provedení vynikající vlastnosti z pohledu pevnosti betonu a jeho minimální propustnosti pro vodu. Slabinou použití zavlhle směsi betonu byla nemožnost za daných okolností kvalitu zpracování kontinuálně udržet. Vynikající vodonepropustnost kvalitních částí betonu je podložena zkoumaným vzorkem, který pod tlakem 0,5 MPa za 72 hodin nepropustil téměř žádnou vodu. Do konstrukce tedy voda prosakuje plochami s nekvalitním složením, trhlinkami v betonu, póry vzniklými minimálním zavibrováním vrstev a hranicí mezi jednotlivými homogenitami. Konstrukce je v místech pórů a méně hutného betonu v celé mocnosti nasycena vodou, která se v interiéru i exteriéru projevuje vyvěrajícími vápennými výkvěty. V interiéru je jejich umístění nejspíše ukazatelem propustného místa konstrukce.

Provedení navržené sanace je poměrně nenáročnou operací a vzniká zde minimum kritických a neestetických detailů. Vzhled konstrukce po sanaci si zachovává „be-



tonový“ ráz, jelikož dominantní složkou je portlandský cement, tak jako u betonové konstrukce. Dlouhodobé testování nátěru v laboratoři a v objektu s vysokou pravděpodobností potvrdilo chemickou kompatibilitu nátěru s konstrukcí, nátěr na vzorku netvořil výkvěty ani makrokristaly. Testování v laboratoři i v terénu potvrdilo jeho spolehlivou ochranu konstrukcí před tlakovou vodou. V neposlední řadě je důležitou stránkou pro rozhodnutí provést tento typ sanace i cena, ekonomicky je varianta s použitím krystalizačních nátěrů finančně příznivá.

Teoreticky nejvhodnější variantou je provést nátěr z exteriéru z co největší části a provést kolem objektu drenáž. Tato varianta nejvíce ochrání konstrukce před hydrofyzikální zátěží. Prakticky není možné aplikovat nátěr z exteriéru u stěny kolem vstupní části objektu, která přímo sousedí s komunikací. Není zde možné provést výkopové práce. I u zadní stěny, která je celá pod terénem, by bylo provedení drenáže do hloubky 6 metrů velmi náročné. Sanovat základovou desku z exteriéru není možné vůbec. U zmiňovaných míst je pak nejvhodnější užít nátěr ze strany interiéru.

Na základě všech provedených zkoušek, lze tento sanační postup doporučit. Výsledné opatření by mělo být vhodné nejen pro konkrétní objekt, ale i pro další stavby obdobné konstrukce.



## 14. Reference

- [1]. **pplk. žen. Ing. Sameš, Antonín.** *Beton a jeho význam pro opevňovací stavby.* Praha : Vydavatel neznámý, 1937.
- [2]. Archiv Českého vysokého učení technického. *Záznamy materiálových zkoušek na vojenských objektech (1937-1938).*
- [3]. **Halina Szklorzová, Theodor Staněk.** Svaz výrobců cementu ČR: dokumenty. *Svaz výrobců cementu ČR.* [Online] [Citace: 10. 04 2016.] <http://www.svcement.cz/includes/dokumenty/pdf/sd2007-prednaska-hs-ts-portlandske-a-hlitanove-cementy.pdf>.
- [4]. **Gregar, Oldřich.** *Zelené střechy, izolace proti vlhkosti v čs. opevnění 1935/38.* 1999.
- [5]. **Aron, Lubomír.** *Československé opevnění 1935-1938.* Dvůr Králové nad Labem : FORTprint, 1998.
- [6]. **Stehlík, F. a Kupka, V.** *Pěchotní srub R-S 74 "Na Holém".* Praha : Fortprint, 1994.
- [7]. **Prášil, Michal.** *Voda v objektech stálého opevnění.* Praha : autor neznámý, 2011.
- [8]. **Seznam.cz a.s. Mapy.cz.** [Online] [Citace: 6. 4 2014.] <http://mapy.cz/>.
- [9]. **Klub vojenství a historie Praha.** *Klub vojenství a historie Praha.* [Online] [Citace: 24. 4 2016.] <http://www.kvh-praha.cz/>.
- [10]. **Witzany, a další.** *PDR - Poruchy, degradace a rekonstrukce.* Praha : nakladatelství ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
- [11]. **Doc. Ing. Pavel Novák, CSc.** *Korozní inženýrství: Korozie v betonu. Korozní inženýrství.* [Online] 2002. [Citace: 13. 4 2016.] [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/p\\_beton.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/p_beton.htm).
- [12]. **Ing. Zdeněk Vávra, Ing. Pavel Dohnálek.** *Beton server: SSBK Sanace železobetonu. Beton server.* [Online] 2011. [Citace: 13. 4 2016.] <http://www.betonserver.cz/ssbk-sanace-zelezobetonu>.
- [13]. **Rostislav Drochytka, Jiří Dohnálek, Jiří Bydžovský.** *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí.* místo neznámé : SSBK. ISBN 978-80-2602210-7.
- [14]. **H. Vinšová, P. Zachař, K. Záruba.** *Ústav analytické chemie VŠCHT PRAHA: POTENCIOMETRICKÉ MĚŘENÍ pH . Ústav analytické chemie VŠCHT PRAHA.* [Online] [Citace: 13. 4 2016.] [https://uanlch.vscht.cz/files/uzel/0012437/3\\_Pot-pH.pdf](https://uanlch.vscht.cz/files/uzel/0012437/3_Pot-pH.pdf).

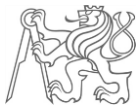


- [15]. **RNDr. Ivan Němec, Ph.D.** Instrumentace infračervené spektroskopie. *Přírodovědecká fakulta univerzity Karlovy v Praze*. [Online] 2008. [Citace: 28. 02 2016.] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=90004](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=90004).
- [16]. **KLEKNER, Bc. MARTIN.** Aplikace analytických metod využívajících rtg záření v oblasti analýz stavebních materiálů. *VUT V Brně*. [Online] 2012. [Citace: 20. 02 2016.] [www.vutbr.cz](http://www.vutbr.cz).
- [17]. **Haramija, Josef.** Metodika využití fyzikálně chemických analýz při hodnocení kvality stavebních hmot. *VUT v Brně*. [Online] 2014. [Citace: 28. 02 2016.] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=90004](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=90004).
- [18]. **RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph.D.** Univerzita Palackého Olomouc: Katedra Geologie: Skripta. *Univerzita Palackého Olomouc: Katedra Geologie*. [Online] 2005. [Citace: 24. 04 2016.] [http://www.geology.upol.cz/upload/studijni\\_materialy/plne\\_texty\\_skript/2005\\_Dolnicek\\_Zdenek\\_Metody\\_laboratorniho\\_vyzkumu.pdf](http://www.geology.upol.cz/upload/studijni_materialy/plne_texty_skript/2005_Dolnicek_Zdenek_Metody_laboratorniho_vyzkumu.pdf).
- [19]. **Doc. RNDr. Jiří Pinkas, Ph.D. a Doc. RNDr. Zdeněk Losos, CSc.** Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta: Chemická sekce. *Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta*. [Online] [Citace: 16. 05 2016.] [http://www.sci.muni.cz/chemsekce/c8870/pdf/Uloha8\\_Termanal.pdf](http://www.sci.muni.cz/chemsekce/c8870/pdf/Uloha8_Termanal.pdf).
- [20]. **Sýkora, O.** *Elektronická databáze československého těžkého opevnění 1935-1938*. [Online] 6. 2 2004. [Citace: 28. 3 2014.] <http://www.opevneni.cz/?l=0108372714102404334468>.
- [21]. **prof. Mgr. Richard Příkryl.** Přírodovědci. *Přírodovědci*. [Online] [Citace: 20. 03 2016.] <https://www.prirodovedci.cz/zeptejte-se-prirodovedcu/198>.
- [22]. Laboratoře katedry: Věda a výzkum: Katedra konstrukcí pozemních staveb. *Katedra konstrukcí pozemních staveb, ČVUT v Praze*. [Online] [Citace: 21. 03 2016.] <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyzkum&sub=53>.
- [23]. **Klečka, Tomáš.** *Metody průzkumu vlhkých staveb*. Praha : Vědecko technická společnost pro sanace staveb a péči o památky, 2007.
- [24]. **Anton, Ing. Ondřej, Blažková, Ing. Vendula a Doc. Ing. Leonard Hobst, CSc.** Soudní inženýrství. *Soudní inženýrství*. [Online] [Citace: 20. 03 2016.] <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-03-175-178.pdf>.





- [25]. **Gresinger**. Digitální vlhkoměr/teploměr pro vzduch: Gresinger. *Gresinger*.  
[Online] [Citace: 20. 03 2016.] [http://www.gresinger.cz/GRESINGER-Katalogovy list-GFTH-95-Digitalni-vlhkomer--teplomer-pro-vzduch-\(PDF\)-\(CZ-DE\)](http://www.gresinger.cz/GRESINGER-Katalogovy-list-GFTH-95-Digitalni-vlhkomer--teplomer-pro-vzduch-(PDF)-(CZ-DE)).
- [26]. **COMET system**. Teplotní sondy: Produkty: COMET system. *Comet system*.  
[Online] [Citace: 20. 03 2016.] <http://cometsystem.cz/produkty/teplotni-sondy/pt1000tg7-m-teplotni-sonda-kabel-1-m/regSN164M>.
- [27]. **Doc. Ing. Richard Wasserbauer, DrSc.** *Biologické znehodnocení staveb*. Praha : Nakladatelství ARCH, 2000. ISBN 80-86165-30-2.
- [28]. **Betosan s.r.o.** *Betosan*. [Online] [Citace: 15. 3 2014.] <http://betosan.cz/vyrobniprogram/>.
- [29]. **Nekap s.r.o.** Technologická příručka Xypex. 2001.
- [30]. **Gregar, Oldřich**. Zelené střechy 1. část. *OIN*. 20. září 2001.
- [31]. **Šmerda, Zdeněk**. *Životnost betonových staveb*. Praha : Nakladatelství ŠEL, 1999.
- [32]. **Ráboň, Martin**. *Armyweb*. [Online] 19. 11 2013. [Citace: 28. 3 2014.] <http://www.armyweb.cz/clanek/proc-je-pancerovy-pechotni-zvon-na-boude-nekolikanasobny-unikat>.
- [33]. **Státní správa zeměměřičství a katastru**. *Český úřad zeměměřičský a katastrální*.  
[Online] [Citace: 20. 3 2014.] <http://www.cuzk.cz/>.
- [34]. **STATIKON Solutions s.r.o.** Statik-projektant. [Online] 18. 6 2012. [Citace: 7. 4 2014.] <http://www.statik-projektant.cz/news/sledovani-trhlin-ve-stenach-pomoci-sadrovych-tercu/>.
- [35]. **Svoboda, Tomáš, Lakosil, Jan a Čermák, Ladislav**. *Velká kniha o malých bunkrech*. Praha : Mladá Fronta, 2011.
- [36]. **Bilčík, Juraj a Dohnálek, Jiří**. *Sanace betonových konstrukcí*. Bratislava : Jaga group, v.o.s., 2003.
- [37]. **DEKTRADE a.s.** *Vegetační střechy a střešní zahrady*. Praha : DEKTRADE a.s., 2009.
- [38]. **KOPLÍK, Prof. Dr. Ing. Richard**. Anorganická mikroanalýza. *Web VŠCHT*.  
[Online] [Citace: 28. 03 2016.] [http://web.vscht.cz/~koplikr/3\\_FA\\_anorg\\_%20kval\\_%20mikroanal%C3%BDza\\_2013\\_oprava.pdf](http://web.vscht.cz/~koplikr/3_FA_anorg_%20kval_%20mikroanal%C3%BDza_2013_oprava.pdf).
- [39]. Jak vznikají krápníky. *Punkevní jeskyně*. [Online] 2006-2007. [Citace: 28. 03 2016.] <http://www.punkevni-jeskyne.cz/vznikaji-krapniky.php>.



[40]. **Václav Vávra, Zdeněk Losos.** Karbonáty. <http://mineralogie.sci.muni.cz/>.

[Online] 1. 11 2013. [Citace: 23. 03 2016.]

[http://mineralogie.sci.muni.cz/kap\\_7\\_7\\_karbon/kap\\_7\\_7\\_karbonaty.htm](http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_7_karbon/kap_7_7_karbonaty.htm).

[41]. Analýza kationtů. [Online] [Citace: 03. 28 2016.]

[http://www.frengp.cz/sablony/32\\_ICT\\_Chemie\\_Konvickova\\_Zarska/Sada2/vy\\_32\\_inovace\\_Chemie\\_06.pdf](http://www.frengp.cz/sablony/32_ICT_Chemie_Konvickova_Zarska/Sada2/vy_32_inovace_Chemie_06.pdf).



## **Seznam příloh**

Technický list XYPEX Concentrate

Technický list XYPEX Patch n' Plug

# Xypex® Concentrate

## ■ VÝROBCE

### HYDROPROOF, s.r.o.

Thákurova 7, 160 00 Praha 6

v licenci:

XYPEX CHEMICAL CORPORATION,

1371 Mayfield Place,

Richmond B.C.CANADA V6V 2G9

## ■ DISTRIBUTOR PRO ČR

### NEKAP s.r.o.

kancelář: Thákurova 7, 160 00 Praha 6

tel.: 233 323 902, 224 316 107

fax: 224 313 212

e-mail: info@nekap.com

www.nekap.com

## ■ CHARAKTERISTIKA

Jedná se o kompozitní směs portlandského cementu s velmi jemným křemičitým pískem a aktivní chemickou bází Xypex® Concentrate, která v kapilárním systému betonu iniciuje růst vláknitých krystalů na molekulární úrovni a trvale zaceluje transportní cesty pro kapalná média. Tím vytváří z běžného betonu trvale účinný systém, nepropustný pro tlakovou vodu, odolný naftě, olejům a jejich derivátům i řadě průmyslovým chemikáliím.

## ■ VLASTNOSTI VÝROBKU

Nepropustnost pro vodu (ČSN EN 12390-8)

**min. 0,8 MPa**

Sypná hmotnost suché směsi (ČSN EN 1097-3)

**1.100 ± 50 kg.m-3**

Doba zpracovatelnosti při +20 °C a 50 % R.V.

**max. 0,3 hod**

## ■ PŘÍPRAVA PODKLADU

Podklad musí být předem dostatečně nasycen vodou, zbaven všech nečistot, prachu, cementových šlemů, příp. mírně zdrsňen, aby byl zpřístupněn kapilární systém betonu, nesmí být mastný a zatížen stojící vodou.

## ■ ZPRACOVÁNÍ

Kompozit Xypex® Concentrate se míchá s pitnou vodou ručně nebo vrtačkou s míchadlem (250-300 ot/min.), v poměru 5 : 2 (objemově) pro aplikaci nátěrem, 5 : 3 pro aplikaci nástřikem. Nanáší se na betonový povrch štětkou nebo stříkací pistolí v tloušťce min. 1 mm (orientační spotřeba je 0,65-1,0 kg.m-2). Optimální doba zpracovatelnosti připravené čerstvé hmoty je 30 minut, dodatečné přidávání vody není přípustné. Podrobný návod je uveden v Technologické příručce Xypex®, který je závazný pro poskytované záruční podmínky.

## ■ OŠETŘOVÁNÍ

Čerstvě ošetřené povrchy betonu kompozitem Xypex® Concentrate musí být účinně chráněny před sluncem, deštěm a vysušujícím větrem. Teplota vzduchu a podkladu při aplikaci musí být v rozmezí +5 °C až + 35 °C. Teplota prostředí by neměla klesnout po aplikaci pod +4 °C po dobu min. 48 hodin. Po zavaznutí aplikace se doporučuje provádět časté vlhčení jemným postřikem povrchu pitnou vodou po dobu min. 3 dnů a umožnit volný přístup vzduchu (nesmí se těsně zakrývat parotěsnými PE fóliemi). Zatížení ošetřeného betonu tlakem vody je možné až po min. 12 dnech po aplikaci (v případě agresivních médií až po 18 dnech). Další povrchové úpravy ošetřené betonové konstrukce jsou možné, při respektování pokynů v Technologické příručce Xypex®.

## ■ OBLAST UŽITÍ

Na betonové konstrukce všeho druhu. Ve spodních stavbách proti vlhkosti i tlakové vodě, jako náhrada klasických izolací. Jako chemická ochrana nádrží v objektech ČOV, úpravnách vody, parovodech, naftovém hospodářství, ČS, stáčištích ropných látek atd. Využívá se jako účinná izolační ochrana geometricky složitých nebo obtížně přístupných betonových konstrukcí, např. skeletových staveb, mostů, kolektorů, tunelů, skladišť jaderného odpadu ap.

## ■ DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE

Teplotní zátěž trvalá	<b>-32 °C až 130 °C</b>
Teplotní zátěž periodická	<b>-185 °C až 1.530 °C</b>
Odolnost proti chemikáliím (periodická zátěž)	<b>pH = 2-12</b>
Odolnost proti chemikáliím (trvalá zátěž)	<b>pH = 3-11</b>

## ■ HYGIENA PRÁCE

Směs je alkalická, netoxická, schválena k použití na pitnou vodu. Při zasažení očí je nutno vypláchnout proudem čisté vody a ihned vyhledat lékaře. Při požití ihned vypít 3 až 4 sklenice mléka nebo vody, nevyvolávat zvracení a ihned vyhledat lékaře. Doporučuje se používat při práci běžné osobní ochranné pomůcky. Při styku pokožkou omýt mýdlem a pokožku ošetřit regeneračním krémem.

## ■ SKLADOVÁNÍ

V původních neporušených obalech v suchém prostředí při min. teplotě +5 °C. Při dodržení skladovacích podmínek je na materiál balený v plechovkách poskytována záruka 1 rok od data prodeje, na materiál balený v pytlích 6 měsíců od data prodeje.

## ■ BALENÍ

v plechovkách s PE vložkou, hmotnost 25 kg  
v plastových kbelících, hmotnost 5 kg  
v papírových pytlích s PE vložkou, hmotnost 20 kg

## ■ CERTIFIKACE

Výrobek je certifikován AO 227 dle zákona č.22/1997 Sb., číslo certifikátu C5-05-0254 ze dne 19.4.2005.

# Xypex® Patch'n Plug

## ■ VÝROBCE

**HYDROPROOF, s.r.o.**  
Thákurova 7, 160 00 Praha 6  
v licenci:  
XYPEX CHEMICAL CORPORATION,  
1371 Mayfield Place,  
Richmond B.C.CANADA V6V 2G9

## ■ DISTRIBUTOR PRO ČR

**NEKAP s.r.o.**  
kancelář: Thákurova 7, 160 00 Praha 6  
tel.: 233 323 902, 224 316 107  
fax: 224 313 212  
e-mail: info@nekap.com  
www.nekap.com

## ■ CHARAKTERISTIKA

Jedná se o speciální druh vysoce modifikovaného rychlevazného cementu s obsahem aktivní chemické báze Xypex® Patch'n Plug pro opravy betonových konstrukcí, porušených zejména průsakem vody. Aplikovaný tmel je schopen během několika sekund zastavit výron vody a je účinný jak proti negativnímu, tak i pozitivnímu tlaku vody do 0,8 MPa. Tmel v krátkém čase dosahuje vynikajících pevností, vyznačuje se velmi dobrou přídržností k původnímu betonovému podkladu a je dlouhodobě trvanlivý. Dodává se v sytkém stavu.

## ■ VLASTNOSTI VÝROBKU

Pevnost v tlaku – 1 hodina (ČSN EN 12390-3)	<b>min. 5,0 MPa</b>
Pevnost v tlaku – 1 den (ČSN EN 12390-3)	<b>min. 15,0 MPa</b>
Doba tuhnutí (ČSN P 722115)	<b>max. 3 minuty</b>
Vodotěsnost cementového tmelu (malty) na betonu (ČSN EN 12390-8)	<b>min. V8</b>
Přídržnost k podkladu (ČSN 73 25 77; ČSN EN 1542)	<b>min. 1,5 MPa</b>
Sypná hmotnost (ČSN EN 1097-3)	<b>1.150 ± 50 kg.m-3</b>

## ■ PŘÍPRAVA PODKLADU

Poškozené místo v povrchu betonu se mechanicky nebo i chemicky zbaví všech volných částic, nečistot, nátěrů apod., řádně se opláchne a důkladně nasytí čistou vodou (nevsáklou vodu je nutno následně odstranit). Na takto připravený podklad lze aplikovat tmel Xypex® Patch'n Plug. Při opravě spár a trhlin v povrchu betonu je nutno nejprve vysekat žlábek v jejich trase ve tvaru „U“ min. šířky 25 mm a hloubky min. 45 mm (tvar „V“ je nepřipustný), v místech průsaku vody je třeba vysekat beton do větší hloubky. Podrobný návod je uveden v Technologické příručce Xypex®.

## ■ ZPRACOVÁNÍ

Materiál Xypex® Patch'n Plug se míchá s pitnou vodou (doporučuje se teplota vody 21 °C) v poměru 3,5 : 1 dílu (objemově) pro vytvoření hustého tmelu. Připravený tmel je nutno zpracovat do 3 minut po namíchání. Z materiálu Xypex® Patch'n Plug lze připravit rovněž rychle tuhnoucí maltovou směs, přidáním tříděného písku do velikosti zrna 1 mm s poměrem mísení max. 1 : 2 (hmotnostně). Podrobný návod je uveden v Technologické příručce Xypex®, který je závazný pro poskytnuté záruční podmínky.



## ■ OŠETŘOVÁNÍ

Obvyklým způsobem jako běžný čerstvý beton (ČSN P ENV 13670-1 + ČSN EN 206-1). Po dobu min. 48 hodin musí být opravované místo s aplikací Xypex® Patch´n Plug v trvale vlhkém stavu.

## ■ OBLAST UŽITÍ

Pro sanaci poškozených betonových konstrukcí, zejména jako ucpávka k okamžitému zastavení průsaků vody, k opravě trhlin, spár, kavern a též pro reprofilaci poškozených povrchů betonu před konečnou aplikací nátěrových hmot Xypex® Concentrate a Xypex® Modified.

## ■ DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE

Teplotní zátěž trvalá	<b>-32 °C až 130 °C</b>
Teplotní zátěž periodická	<b>-185 °C až 1.530 °C</b>
Odolnost proti chemikáliím (periodická zátěž)	<b>pH = 2-12</b>
Odolnost proti chemikáliím (trvalá zátěž)	<b>pH = 3-11</b>

## ■ HYGIENA PRÁCE

Materiál Xypex® Patch´n Plug je alkalický a netoxický. Při zasažení očí je nutno vypláchnout proudem čisté vody a ihned vyhledat lékaře. Při práci je nutno používat gumové rukavice. Při styku s pokožkou omýt mýdlem a pokožku ošetřit regeneračním krémem.

## ■ SKLADOVÁNÍ

V původních neporušených obalech v suchém prostředí při min. teplotě +5 °C. Při dodržení skladovacích podmínek je na materiál balený v plechovkách poskytována záruka 1 rok od data prodeje, na materiál balený v pytlích 6 měsíců od data prodeje.

## ■ BALENÍ

Plechovka s PE vložkou o hmotnosti obsahu 25 kg. Plastový kbelík o hmotnosti 5 kg.

## ■ CERTIFIKACE

Výrobek je certifikován AO 227 dle zákona č.22/1997 Sb., číslo certifikátu C5-05-0256 ze dne 19. 4. 2005.