

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geotechnologie



Kryštof Mach

Degradace žul v kvádrovém zdivu klenbových mostů
Decay of granites used for ashlar masonry in arch bridges

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Mgr. Richard Přikryl, Dr.

Praha 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně s použitím literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 21. srpna 2019

.....

Podpis

Poděkování

Zprvu bych rád poděkoval svému vedoucímu práce prof. Mgr. Richardu Přikrylovi, Dr. za konzultace a nabídku zpracovat zajímavé téma práce, které mě obohatilo mnoha směry. Dále děkuji Mgr. Martinu Rackovi, Ph.D. a RNDR. Radimu Jedličkovi, Ph.D. za pomoc při práci v petrografických laboratořích. Nakonec jsem také vděčný svým blízkým a své rodině, že to se mnou podobu mého studia vydrželi.

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o tématu degradaci žul v kvádrovém zdivu klenbových mostů. Vzhledem k tomu, že proces stárnutí a snižování funkčnosti granitu ve stavebních konstrukcích bývá rychlejší než v přírodních podmínkách, je třeba tyto probíhající změny blíže zkoumat.

Úvodní kapitola práce je věnována obecným degradačním vlivům na stavební kámen. Tyto vlivy mohou být příčinou například snížení hodnot materiálových vlastností či dokonce příčinou poškození a destrukce kamene. V této práci jsou děleny na procesy fyzikální, chemické a biologické. Avšak tyto procesy jsou mezi sebou zpravidla kombinovány a umocňují se navzájem.

Dále jsou v práci detailněji charakterizovány žuly neboli granity s důrazem na jejich vlastnosti a odolnost vůči negativním vlivům. V těchto kapitolách není opomenuta ani klasifikace granitických hornin podle složení a stavby, z níž vyplývá přesná pojmenování/terminologie horniny.

V závěru práce je rozpracována případová studie k využití žulového kamene ve stavbách klenbových mostních konstrukcí. Ta je zpravidla použita především na dvou nosných prvcích, a to na klenby a na pilíře mostu. Tento typ mostní konstrukce byl v historii hojně využíván. V jedné z podkapitol se autor zaměřuje na případ mostu Legií v Praze. Tento most je právě příkladem kamenného klenbového mostu z žulových kvádrů. Tato dílčí studie popisuje především analýzu odebraného vzorku, který byl zpracován v petrografických laboratořích Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy.

Klíčová slova: žuly; degradační procesy; klenbové mosty

Abstract

This thesis deals with the decay of the granite used for ashlar masonry in arch bridges. The aging process and the functionality decrease of the granite tend to be faster in building structures than in natural conditions. Therefore, this ongoing change need to be closely researched.

At the beginning, the thesis is focused on general degradation effects on building stone, which can cause for example the reduction of material or finally its damage and destruction.

Further, the character of the granite is analysed with the respect to its quality and resistance to negative influences. In this chapter, this thesis also deals with the classification of granitic rocks according to the composition and the structure, which determine the specific name of the rock.

Finally, the granite stone is also used in the constructions of arched bridges as their supporting elements, namely vaults and pillars. This type of construction has been widely used in the past. One of the subchapters focuses on the case study of the Legií bridge in Prague, which is a stone arch bridge made of granite blocks. In particular, the author describes the analysis of the sample, which was processed in the petrographic laboratories at the Faculty of Science of Charles University.

Keywords: granites; decay processes; arch bridges

Obsah

1. Úvod	
2. Zvětrávací procesy na stavební kámen	2
2.1. Obecné vymezení	2
2.2. Fyzikální zvětrávací procesy	2
2.2.1. Teplotní změny	2
2.2.2. Působení vody	3
2.2.3. Mechanické vibrace	4
2.2.4. Mechanické působení vyšší rostliny	5
2.3. Chemické zvětrávací procesy	5
2.3.1. Atmosféra	5
2.3.2. Vodorozpustné soli	6
2.4. Zvětrávací procesy způsobené organismy	7
2.4.1. Bakterie	7
2.4.2. Řasy	9
2.4.3. Houby, plísně a mechy	9
2.4.4. Lišejníky	9
2.4.5. Živočichové	10
3. Granit	11
3.1. Podmínky vzniku	11
3.2. Složení	11
3.3. Vnitřní stavba	12
3.3.1. Základní definice	12
3.3.2. Struktura	12
3.3.3. Textura	12
3.4. Klasifikace	13
3.4.1. Klasifikace na základě chemického složení	13

3.4.2.	Klasifikace na základě modálního složení.....	13
3.4.3.	Genetická klasifikace.....	15
4.	Kamenné klenbové mosty	16
4.1.	Základní charakteristika.....	16
4.2.	Klenby a průčelní zdi.....	16
4.2.1.	Konstrukční řešení	16
4.2.2.	Poruchy	16
4.3.	Pilíře	17
4.3.1.	Konstrukce a funkce	17
4.3.2.	Poruchy	17
5.	Most Legií v Praze.....	18
5.1.	Historie	18
5.1.1.	Úvod	18
5.1.2.	Předchůdce mostu Legií	18
5.1.3.	Most Legií.....	20
5.1.4.	Přírodní kámen mostu Legií	21
5.2.	Analýza odebraného vzorku žuly	22
6.	Závěr	29
	Seznam použitých zkratk	30
	Seznam použité literatury a zdrojů informací	31

1. Úvod

Klenbové kamenné mosty jsou jednou z nejrozšířenějších historických stavebních konstrukcí. Prokazatelně byly stavěny již ve 2. tisíciletí před Kr. Výstavbě mostů a volbě vhodných materiálů byla vždy věnována patřičná pozornost. I když byly upřednostňovány místní druhy kamene, v řadě případů jsou doloženy dovozy stavebního materiálu i z větších vzdáleností. Využití hornin ze vzdálenějších lomů usnadnil zejména rozmach dopravní infrastruktury po nástupu průmyslové revoluce, kdy dopravu těžkých nákladů začala zajišťovat železniční síť. Nejinak tomu bylo v českých zemích 2. poloviny 19. století, kdy se ve stavitelství a architektuře začínají stále více uplatňovat žuly z tehdy nově zakládaných lomů.

Žula byla zvolena jako hlavní stavební materiál dvou významných pražských klenbových mostů přes Vltavu v 19. století – mostu Palackého a mostu Legií. V případě mostu Legií byl v roce 2018 zahájen rozsáhlý diagnostický průzkum. Jeho součástí je i studium zvětrávacích jevů a povrchových vrstev přírodního kamene (Příkryl 2019). Cílem tohoto studia bylo zjistit složení povrchových vrstev, míru poškození kamene i odvození příčin vzniku zvětrávacích jevů.

Autor této bakalářské práce měl možnost zúčastnit se odběru vzorků a částečně i jejich následných rozborů, zejména mikroskopického studia. V úvodní části se tato práce věnuje popisu hlavních degradačních mechanismů žul v kvádrovém zdivu klenbových mostů. Spojitostí jsou zvětrávací procesy, které se dělí na fyzikální, chemické a biologické. V těchto souvislostech se dále práce zabývá i klasifikací žul, která popisuje jejich petrografické vlastnosti na základě složení. Žuly se právě kvůli svým typickým vlastnostem uplatňují v klenbových mostních konstrukcích zpravidla na nosných prvcích kleneb a pilířů, které trpí charakteristickými problémy.

Možnost praktické část se věnuje studiu mostu Legií v Praze, kde byl odebrán vzorek ze zvětralého povrchu žulového kvádrů. Zkoumání by mělo napomoci k pochopení vlivu degradačních mechanismů, v souvislosti se zjištěním míry poškození.

2. Zvětrávací procesy na stavební kámen

2.1. Obecné vymezení

Zvětrávací procesy představují soubor přirozených či člověkem vyvolaných dějů, které působí na horniny a jejich stavební součásti, a které vedou k degradaci jejich vlastností. Zvětrávací procesy mohou vést až k úplnému rozpadu daného materiálu a ke změně potřebných fyzikálních vlastností. Zvětrávací procesy působí negativně na horniny v místech jejich přirozeného výskytu, ale též po jejich vytěžení, opracování a využití ve stavební konstrukci, kde plní určenou funkci.

Zvětrávací procesy lze dle mechanismu působení a odezvy materiálu rozdělit na fyzikální a chemické. V posledních desetiletích se samostatně vymezují děje způsobené organismy, označované jako biologické zvětrávací procesy. Ve většině případů probíhá několik procesů najednou či na sebe navazují, což ztěžuje zpětnou interpretaci významu jednotlivých dějů.

2.2. Fyzikální zvětrávací procesy

Při působení fyzikálních zvětrávacích procesů dochází ke značnému rozvolnění vnitřní stavby horniny, aniž by se změnilo chemické či mineralogické složení. Dochází ke ztrátě vzájemné soudržnosti stavebních součástí – minerálních zrn silovým působením různých činitelů. Vznik těchto destruktivních sil nejčastěji souvisí se změnou teploty, působením vody, roztoky solí, tlakem rostoucích kořenů rostlin, mechanickými vibracemi, vznikem nových minerálů, abrazí povrchu atd. (Kotlík et al. 2011). Logickým důsledkem je výrazná změna fyzikálních vlastností horniny například nárůst pórovitosti, zhoršení mechanických vlastností a podobně.

2.2.1. Teplotní změny

Většina typů přírodního kamene, využívaných jako stavební materiál, představuje heterogenní soustavu. Horninové minerály mají odlišné vlastnosti, které ovlivňuje proces jejich vzniku. V případě teplotních změn je důležitá především rozdílná změna objemu související s poklesem či nárůstem teploty.

Objemové změny jsou dané schopností minerálů absorbovat teplo. Tuto vlastnost materiálu popisuje koeficient teplotní objemové roztažnosti, který je závislostí mezi rozdílem teploty a změnou objemu daného tělesa (Turcotte a Schubert 2002). U některých minerálů se vyskytuje anizotropie, která zapříčiní odlišnost hodnot koeficientu teplotní objemové roztažnosti v různém směru krystalových os. Faktorem ovlivňující velikost teplotní změny je i barva, která indikuje míru absorbovaného slunečního světla a tudíž i tepla. Na tmavé horniny, obsahující

převážně mafické minerály (např. amfiboly, pyroxeny, biotit atd.), působí sluneční svit větší mírou než na světlé horniny, kde mohou převládat felsické minerály jako křemen či živce (Strahler a Strahler 2006).

Při zahřívání materiálu se teplo šíří postupně od povrchu do vnitřní struktury. Vzniká tak teplotní gradient mezi vnější vrstvou a vnitřní hmotou. Teplotní rozdíl může v relativně krátkém časovém intervalu dosahovat až k desítkám stupňů, čímž vzniká teplotní hranice v heterogenním celku, která má za následek vnitřní pnutí na rozhraní jednotlivých horninotvorných zrn a krystalů. Při cyklickém opakování dějů vznikají nespojitosti mikrotrhliny, které jsou doprovázeny poklesem pevnosti, růstem pórovitosti a zvětšováním vnitřního měrného povrchu materiálu. Za nepříznivých podmínek do těchto prostor může pronikat vlhkost, voda či roztoky solí, které dále narušují tento zdánlivě pevný celek (Pavlíková a Keppert 2009).

Insolace je zvětrávací proces, který funguje na tomto principu opakujících se teplotních změn, v důsledku slunečního svitu jako je den a noc, bez působení vody. Následné překročení pevnosti mezi svrchní a vnitřní částí horninového bloku vede ke vzniku exfoliačních vrstev, které se následně odlupují (Twidale 2005).

2.2.2. Působení vody

Pórovité materiály, mezi něž patří horniny, obsahují vždy určité množství vody, které je v rovnováze s vlhkostí okolního prostředí. Voda se v pórech vyskytuje ve všech skupenstvích. Forma skupenství a proměnlivost vlhkosti záleží především na teplotě, vlhkosti prostředí, rychlosti proudění okolního vzduchu a vlastnostech materiálu (Kotlík et al. 2011).

Druhy vody se také rozlišují podle sil, kterými jsou vázány v pórech a obecně v geologickém prostředí. Vázaná voda, neboli adsorpční, je tenká vrstva adsorbovaná na povrchu zrn, která se v systému prakticky nepohybuje. Mezi molekulami vody a stěnami pórů působí chemisorpční a fyzikálně sorpční síly např.: Van der Waalsovy síly. Zásluhou těchto vlastností vázaná voda při poklesu teploty pod 0°C nemrzne, ale zároveň ji lze odstranit pouze zahřátím na vyšší teplotu. Kapilární voda se pohybuje v pórovém systému působením kapilárních sil; naproti tomu tzv. volné vody využívají gravitaci. Kapilární i volná voda se při ohřátí na bod varu odpařuje, což se využívá při zjišťování vlhkosti u horninových vzorků např. v mechanice zemin, ale oproti tomu mohou při nízkých teplotách změnit skupenství na pevné (Domenico a Schwartz 1997).

Pronikání vody do stavební konstrukce nastává několika způsoby. Nejběžnějším případem jsou srážkové vody, tedy z deště či tajícího sněhu. Při průchodu atmosférou s sebou voda strhává pevné částice prachu, a rozpouští některé plyny i soli v nich obsažené. Tím se dostávají

rozpuštěné i nerozpuštěné látky k povrchu stavebního materiálu a dále i pod povrch do systému pórů. Dalším příkladem jsou kondenzované vodní páry na povrchu stavby, jež se nacházejí v blízkosti vodních nádrží, vodního toku, kanalizací či jiného vodního díla. Tato tzv. kondenzační voda se objevuje na kontaktu teplejší vodní páry a chladnějšího stavebního materiálu. Do kontaktu s konstrukcí se dostanou i rozpuštěné plyny obsažené v páře (Pavlíková a Keppert 2009).

Voda je pro stavební materiály nebezpečná přednostně z hlediska mrazového zvětrávání. Při přechodu z kapalného do pevného skupenství se zvětšuje objem vody a dochází ke vzniku krystalizačních center ledu, která působí destruktivně. Krystalizační tlaky v okolí pórů dosahují jednotek až desítek MPa, čímž mohou převýšit tahovou pevnost většiny hornin. Obzvláště nebezpečné jsou opakované, cyklické změny teplot spojené s přeměnou skupenství vody (Hohmann 1997). Podobné principy platí u krystalizace solí, uvedených níže.

Skutečné vody nejsou čisté, ale transportují rozpuštěné látky a drobné pevné částice podporující existenci živých organismů jako jsou řasy, lišejníky a další. To vše ovlivňuje pohyb a schopnosti vody. Poté je tu stavební materiál s póry, které nejsou dokonale uspořádány. Vnitřní systémy pórů mohou být izolované nebo slepé, takže zadržují vodu, naopak jiné rozevřenější či spojené systémy umožňují vodě protékat snadněji. Numerické metody na tyto reálné skutečnosti zatím nestačí, a proto s odhalením některých těchto problémů pomáhá rtuťová porozimetrie či speciální metody optické mikroskopie (Kotlík a kol. 2011).

2.2.3. Mechanické vibrace

Mezi postupné fyzikální děje, působící z okolního prostředí na konstrukci, patří různé vibrace, otřesy, zdroje hluku či zemětřesení. Díky rychle se rozvíjející dopravní infrastruktuře se zvětšilo množství zdrojů různých vibrací. I malá města jsou protkaná frekventovanými silnicemi, kolejemi a často i nedaleko vystavěným letištěm.

Stavební materiály v blízkosti tras dopravních prostředků podléhají vlivům vibrací nebo mikrootřesů. Tato forma opotřebení je schopna poškodit i odolné horninové struktury. Účinnost působení kmitání je dána především amplitudou vlnění a frekvencí vzájemného pohybu objektů tzv. resonancí. Zvláště namáhané jsou mostní konstrukce nebo vyšší štíhlé předměty např. sloupy (Vítek 1978).

Důsledkem narušování kamene či jiného materiálu je ve většině případů vznik mikrotrhlin nebo prasklin, které následně ovlivňují vlastnosti struktury ve svém blízkém okolí. Samozřejmě v případě opakovaného namáhání dochází ke zvětšení rozsahu diskontinuit až na celou stavbu. Reakcí je zvětšování pórovitosti, tudíž i propojování pórových systému, které následně

umožňují lepší transport vody dovnitř konstrukce, kde dochází k dalším, v této práci zmíněným degradačním vlivům (Pospíšil 2008).

2.2.4. Mechanické působení vyšší rostliny

Na starších a málo udržovaných objektech se uchycují a pokračují v růstu cévnaté rostliny jako byliny, keře a dokonce i stromy. Většinou rostou na místech horizontálních či mírně nakloněných, kde je přístup k potřebnému množství vody a slunečnímu světlu. Mají-li dostatek času a živin, jsou schopny vyvolat vážná poškození stavby.

Kořenový systém vyšších rostlin, který sice nemůže proniknout do pevných částí stavby, ale uchyluje se do spár a povrchních štěrbin, kde je hlavním tvůrcem problémů. Postupný růst kořenů vytváří tlak na své okolí, takže rozšiřuje spáry nebo trhliny ve zdivu. Za jednotky let se kmen i kořen zvětší o několik milimetrů až centimetrů, podle druhu rostliny a podmínek. Některé práce uvádějí, že kořeny vytvářejí tlak ve směru osy až 2,5 MPa, ve směru radiálním až 0,7 MPa (Kotlík et al. 2011). Zároveň kořeny těchto vyšších rostlin produkují huminové kyseliny. Tyto látky napadají uhličitany, vytěsňují z nich oxid uhličitý a tvoří vápenaté či hořečnaté soli, často s vyšší rozpustností než původní sloučeniny. Huminové látky samotné podporují vývoj rostliny, která s jejich pomocí lépe vstřebává živiny. Uvedené dva faktory spolu úzce souvisejí a navzájem se podporují (Urquhart et al. 1997).

2.3. Chemické zvětrávací procesy

Do chemických dějů jsou zahrnuty zvětrávací procesy, při nichž se mění chemické složení materiálu nebo některé jeho vnitřní složky. Výsledkem probíhajícího chemického zvětrávání jsou zpravidla změny barvy, objemu, rozpustnosti napadené složky a především mineralogického složení a chemismu horniny. Logickým důsledkem chemických zvětrávacích procesů je opět degradace fyzikálních vlastností hornin.

2.3.1. Atmosféra

Vzduch obsahuje vedle základních složek dusíku a kyslíku, i další látky jako argon, oxid uhličitý, vodní páru, oxidy síry a dusíku, uhlovodíky a také pevné částice. Ale kvůli prudkému pokroku lidstva, s čímž souvisí vzestup průmyslu a dopravy, stoupá obsah znečišťujících látek v atmosféře. Plyny a částice o různých koncentracích a jemnostech jsou transportovány na vzdálenosti stovek i tisíců kilometrů, tudíž se rozdílují stírají. Zároveň se uměle vytvořené nebo odpadní látky dostávají na místa, kde se v minulosti nikdy nevyskytovaly. Situace je stále tíživější v průmyslových zónách a velkoměstech. V posledních letech jsou již známy případy poškození historických i současných staveb, které dešťové vody obohacení průmyslovými či

výfukovými plyny trvale poškodily, jsou to například Athény. Vymývání exhalátů ze vzduchu deštěm způsobuje rostoucí kyselost srážkové vody, proto se výše zmíněné označují jako kyselý déšť.

Oxid uhličitý CO_2 je přirozenou složkou atmosféry. Přestože je jeho koncentrace poměrně nízká, má na stavební materiál značný vliv. Způsobuje rozpouštění uhličitanu vápenatého ve vápenných maltách a rovněž v horninách, zejména ve vápencích a opukách. Probíhá proces popsany chemickou rovnicí níže.



Vzniklý hydrogenuhličitan může být transportován dále vodou, a pokud se zvýší koncentrace CO_2 nebo dojde k odpaření vody, vysráží se zpět uhličitan vápenatý. Tímto procesem dochází, kromě koroze vápence ve stavbách, i k tvorbě krasových jevů (Kotlík a kol. 2011).

Oxid siřičitý a oxidy dusíku jsou z větší části obsaženy v kyselých deštích. Ve vodě vznikají roztoky kyselin HNO_2 , HNO_3 , H_2SO_3 a H_2SO_4 . Tyto kyseliny jsou silnějším rozpouštědlem než kyselina uhličitá, a vedou k nevratnému rozpouštění uhličitanů a hydroxidů přítomných v horninách. Okyseluje se i okolí putující vody, takže jsou napadány i živce, sloučeniny železa, mědi atd.

2.3.2. Vodorozpustné soli

Vodorozpustné soli se považují za nejčastější příčinu poškození stavebních konstrukcí, především dolních partií v blízkosti půdy. Druhy a množství solí v povrchu konstrukce závisí na vlastnostech materiálu, způsobu kontaminace a charakteru okolního prostředí. Nejčastěji se vyskytují sírany, chloridy, dusičnany, z kationtů vápenatý, sodný, hořečnatý a amonný. Ze složení solí lze usuzovat na jejich původ, ale jen s určitou pravděpodobností.

Zdroje solí ve struktuře stavebního materiálu mohou být různé. Vyskytují se v samotných stavebních materiálech, také ve vložených tělesech jako odvodňovací potrubí a sítě, dále v pojivech, zimním posypu proti tvorbě ledovky, ve výše zmíněných živých organismech, objeví se i při zavedení nevhodné technologie při čištění či opravách a nakonec v transportních médiích. Vysoká rozpustnost některých solí je příčinou jejich pohyblivosti v pórovém prostředí hornin. Ve formě roztoku bývají převedeny z míst s vyššími koncentracemi látek do prostorů s nižšími koncentracemi, dokud nedojde k vyrovnání hodnot (Růžička 2008).

Putováním rozpuštěných solí po objektu, jak vzlínáním z podzákladí či v případě horní mostovky stékáním dolů, se dostávají roztoky na povrch a do svrchních vrstev stavby. Při suchých obdobích se voda ze směsi odpařuje a roste koncentrace dané soli. V případě nasycení roztoku začíná proces krystalizace do pevného skupenství. Jestliže děj probíhá výhradně na

povrchu, označuje se jako solný výkvět - eflorescence. Při krystalizaci solí uvnitř pórů vznikají krystalizační tlaky nebezpečné pro svrchní část kamene, použité omítky či pojiva. Řádově se vytvořená síla na plochu pohybuje od jednotek až k desítkám MPa. Míra způsobených škod záleží na vlastnostech materiálu, ve kterém se děj odehrává, přesněji na jeho kritické pevnosti (Steiger 2005).

2.4. Zvětrávací procesy způsobené organismy

Biodegradační děje způsobují všechny živé organismy, které přeměňují nejen organický, ale i anorganický materiál. Patří mezi ně především bakterie, řasy, houby, plísňe, lišejníky, vyšší rostliny a živočichové. Degradace materiálu biologickými procesy se projevuje jak jejich chemickým, tak fyzikálním působením. Zároveň většina těchto nechtěných činitelů potřebuje pro svou činnost vhodné podmínky jako například vlhkost, teplo, světlo, přístup živin a podobné faktory, napomáhající k jejich životu a rozvoji.

2.4.1. Bakterie

Z chemického pohledu na biodegradační děje představují pro stavební materiál největší nebezpečí právě bakterie. Obecně všechny druhy bakterií potřebují ke svému rozvoji zdroj živin, což je uhlík, dusík, minerální prvky a také zdroj energie. Dále platí, že bakterie nejlépe rostou při 10% vlhkosti materiálu a optimální teplotě v rozmezí od 5 do 35°C. Naopak přímý sluneční svit růst potlačuje (Růžička 2008). Základní dělení bakterií se odvíjí od zdroje uhlíku nebo energie. Pro přírodní stavební kámen jsou nejvíce nebezpečné typy chemotrofní, přesněji podskupina autotrofních bakterií.

Odlišení chemotrofních bakterií spočívá ve způsobu, jakým získávají energii z oxidace anorganických nebo organických látek. Jejich protějšky jsou bakterie fototrofní, které potřebují jako zdroj energie sluneční záření. Jako autotrofní bakterie se označují druhy živící se uhlíkem výhradně z oxidu uhličitého. Opakem jsou pro stavební materiál méně nebezpečné heterotrofní organismy, které využívají uhlík z organických látek (Urquhart et al. 1997).

Sírné bakterie jsou chemotrofní, a vyskytují se tam, kde je dostatečná vlhkost a přítomnost síry. Optimální podmínky jsou pH od 6 do 9 při teplotním rozmezí 25-30°C. Činností těchto bakterií se postupně oxidují sloučeniny obsahující síru v nižších oxidačních stupních až na sírany. Tím může vznikat roztok kyseliny sírové, který snižuje pH kontaktního stavebního materiálu, a často tak vede ke vzniku solných krystalů ettringitu, který má vysoké krystalizační tlaky (Růžička 2008). V přírodě je zdrojem síry a sírných sloučenin především prach, trus ptactva, soli síry obsažené v některých půdách a podzemní vodě. V důsledku lidské činnosti se nejen ve městech, ale i v dalších oblastech vyskytují tzv. kyselé deště. Především kvůli emisím oxidů

síry a oxidů dusíku v ovzduší, kterými je následně obohacena dešťová voda, se dostávají na povrch staveb solné roztoky. Největší množství těchto bakterií se nalézá v povrchových vrstvách materiálu, a to hlavně z důvodu jejich aerobních vlastností. Procesem opačným, tedy redukcí sloučenin obsahujících síru, se vyznačují desulfurizační bakterie. Ty nejspíše nezpůsobují žádné poškození na materiálech použitých ve většině konstrukcí. Jejich negativním významem je možné uzavírání koloběhu síry v objektu s pomocí transportu látek vodou (Urquhart et al. 1997).

Nitrifikační bakterie jsou chemoautotrofními bakteriemi. Předpokladem pro jejich výskyt je rozhraní pH 6,5-9 a teplota 20-30°C. Druhy jsou buď striktně, nebo fakultativně anaerobní, tudíž se nalézají především na svrchních krustách materiálu (Růžička 2008). Poškození, které způsobují, vychází z jejich schopnosti oxidovat amoniak nebo amonné soli až na dusičnany, kde vzniká kyselina dusitá nebo dusičná. Často následně probíhá reakce s vápnitou složkou v horninách za vzniku dusitanu či dusičnanu vápenatého a dalšího důležitého produktu oxidu uhličitého. Oxid uhličitý vzniklý reakcí je následně využíván bakteriemi jako zdroj živin a stavební materiál. Dusíkaté sloučeniny jsou zase výživou pro různé vyšší rostliny a případně živočichy; ti jsou producenty organických látek zpracovávaných denitrifikačními mikroorganismy, s jejichž pomocí přejdou dusíkaté látky zpět na amoniak. Tento cyklus vzdálených procesů spojuje transportní medium v podobě vody. Tyto reakce jako celek mají několik důsledků, které se všechny negativně projeví na vlastnostech zasaženého materiálu. Charakteristickým znakem je zvyšování pórovitosti, které napomáhá ke snižování soudržnosti materiálu (Pitter 2015).

Silikátové bakterie získávají živiny pomocí oxidace organických látek, takže se řadí k chemoorganotrofní. V přírodě se vyskytují v hrubozrnných nebo jemnozrnných pískovcích s příměsí uhličitánů a jílových minerálů, ale v městském prostředí se také vyskytují ve zdívech, svrchních vrstvách a pojivových spárách především u staveb z kamene. Preferují oblasti s vlhkostí okolo 5%, pH s hodnotou 7 a teplotou v intervalu 15-30°C (Růžička 2008). Svoje okolí poškozují dvěma druhy procesů. První je důsledkem schopnosti těchto bakterií rozkládat uhlovodíky, pocházející z průmyslu a domácích topenišť, za vzniku extracelulárních polymerních látek zkráceně EPS, které zvyšují pórovitost, snižují výpar a mění propustnost kamene. Druhý proces se týká vylučování substrátů organických kyselin např.: kyseliny glukonové, citronové, šťavelové, glykolové a podobných. Následkem je vzrůstající intenzita rozkladu některých minerálů, hlavně kalcitu (Urquhart et al. 1997).

2.4.2. Řasy

Jedním z živých organismů, vegetujících převážně na přírodním kameni, jsou řasy. Vyskytují se na povrchu či prasklinách kamenů s dostatkem světla, vlhkosti, přístupem živin v podobě minerálních látek a optimálním rozsahem pH od 3,5 do 9. Zvládají vysoké výkyvy teplot od 0°C k 85°C. Za nepříznivých podmínek v období sucha sporulují, čímž přežijí do dalšího vhodného období (Kotlík et al. 2011).

Hlavní podíl na degradaci kamene je v produkci oxidu uhličitého, který rozpouští uhličitán vápenatý v přírodním kameni nebo omítkách. Svým metabolismem produkují organické kyseliny a barviva, čímž vytvářejí různě zbarvené vrstvy slizu na povrchu kamene, které indikují případné uvolňování kationtů ze struktury hornin a zvýšenou vlhkost. Při ideálních podmínkách pro růst zároveň mohou v mikrotrhlinách a pórech zvětšovat svůj objem a expanzními tlaky narušovat materiál. Tento souhrn poškození má za následek odpadávající svrchní krustu stavebního materiálu v obdobích častých změn skupenství vody (Urquhart et al. 1997).

2.4.3. Houby, plísňe a mechy

Živnou půdou pro houby a plísňe jsou zbytky jiných organismů, vysoká míra vlhkosti, teploty od 20 do 30°C a slabě kyselé pH. Tito biodegradční činitelé se charakteristicky vyskytují hlavně na dřevinách, ale mohou se objevit i na kamenných podkladech, kde také způsobuje škody (Kotlík a kol. 2011).

Vegetativní aparát hub se skládá z vláken, které prorůstají do pórovitého systému horniny, kde působí mechanické poškození. Tímto způsobem se zachytávají na zvětralých krustách a zadržují zde vodu. Dále vytvářejí podobné, ba dokonce stejné kyseliny jako silikátové bakterie, které napadají především materiály tvořené uhličitany, ale odolné proti jejich vlivu nejsou ani silikátové minerály jako např. chlority, živce apod. (Urquhart et al. 1997).

2.4.4. Lišejníky

Lišejníky jsou symbiotické organismy tvořené vždy houbou a řasou. Tomu odpovídá i jejich nárok na podmínky výskytu, pouze s větším přizpůsobením na teplotu. Jinak biodegradční vlivy na stavební materiál jsou si podobné (Pavlíková a Keppert 2009).

Biodegradční aktivita lišejníků spočívá v produkci organických kyselin, které naleptávají horninu a z minerálů uvolňují do vody rozpustných komplexů. Mezi kyseliny produkované lišejníkem patří např. kyselina salicylová, vinná, šťavelová, evernová a další. Povrch kamene je také ovlivňován při periodicky se měnící teplotě, kdy se konce stélek lišejníků pravidelně

odchlípují; s nimi jsou odtrhávány i kousky horniny. Poté se celý cyklus opakuje na čerstvě obnažené části (Urquhart et al. 1997).

2.4.5. Živočichové

Živočichové představují nepřímý faktor podporující poškození stavebních materiálů, díky dodávání živin ostatním biodegradačním dějům. Trus, který se dostává na stavby zásluhou ptactva, se stává zdrojem anorganických a organických látek. Tyto látky, obsahující hygroskopické fosforečnany a dusičnany, bývají rozpuštěny srážkovou vodou a transportovány buď po vnějšku konstrukce, nebo pórovým systémem až k organismům, které je následně využívají (Kotlík et al. 2011).

3. Granit

Granit známější na československém území pod jménem žula, patří k magmatickým horninám. Ve většině případů se jedná o přímé produkty tuhnutí a krystalizace magmatu. Patří k nejrozšířenějším horninám v zemské kůře, kde se vyskytuje především v její svrchní části.

3.1. Podmínky vzniku

Důležitými aspekty při vzniku dané horniny je teplota, tlak a složení taveniny. Granit se zařazuje do magmatických plutonických hornin, jinak nazývaných hlubinných či abysálních, což znamená, že obsažené minerály krystalizovaly v zemské kůře za relativně vysokého tlaku a nízké teploty. Tyto dva klíčové faktory se navzájem ovlivňují, pokud například klesá tlak, musí vzrůstat teplota. Při překročení určitých hodnot těchto faktorů vznikají odlišné horniny. Vliv má i obsah volatilní složky, která ve většině případů snižuje teplotu tavení, tím působí na fázové rovnováhy a umožňuje krystalizaci řadě minerálů.

Typické granity vznikají především z acidního neboli kyselého magmatu s vysokým obsahem oxidu křemičitého. Krystalizace minerálů v magmatu má dvě základní stádia. Proces označovaný jako nukleace popisuje vznik nepatrných zárodků stabilních nebo i metastabilní fáze. Zárodky dosahují určité mezní velikosti, aby se z nich mohly vyvinout krystaly. Za nepříznivých podmínek opět zanikají v tavenině. Vývoj minerálů dále pokračuje růstem těchto krystalů, kde se vytváří struktura a zrnitost výsledné horniny. Důležitými podmínkami v průběhu zvětšování minerálů jsou například: obsah chemických látek v tavenině, rychlost difundace těchto látek, konkurenční růst mezi krystaly a entalpie, která popisuje rychlost změny teploty v daném objektu (Holub 2002).

3.2. Složení

Charakteristické složení granitů tvoří křemen, dále alkalické živce a plagioklasy. Vedlejšími minerály jsou slídy jako biotit či muskovit, turmalín, a pokud se blíží více bazickým horninám, tak amfibol. Akcesorickým minerálem bývá apatit, zirkon a monazit. Díky složení především ze světlých minerálů a díky minimálnímu výskytu mafitů, jsou žuly světlými horninami. Podobné zastoupení chemických prvků mají také žilné a výlevné ekvivalenty k žulám, ale s odlišným průběhem krystalizace minerálů z magmatu, jsou to granitový porfyr a ryolit (Deer et al. 1996).

3.3. Vnitřní stavba

3.3.1. Základní definice

Horniny se skládají z jednotlivých minerálů, které tvoří krystaly či zrna určitých tvarů a složení. Jejich charakteristické uspořádání umožňuje porozumět jejich vzniku a vlastnostem. Zde jsou popsány dvě hlavní kritéria vnitřní stavby horninového materiálu, struktura a textura. Zájem bude především o popis stavby plutonických hornin, jelikož k nim patří granitoidní tělesa. Stavba materiálu je v geologii řazena mezi makroskopické dělení, jelikož na určení klasických rysů horniny se nepoužívá žádné speciální vybavení.

V minulosti byl popis stavby horniny napříč zeměmi značně komplikovaný a nesourodý. Způsobeno to bylo skutečností, že v anglické literatuře je slovo *structure* chápáno významově jako *textura*, a vzájemně také naopak, takže docházelo k častým neshodám i v odborných kruzích (Holub 2002).

3.3.2. Struktura

Popisem kritéria horninové struktury se z větší části vyjadřuje stupeň krystalizace, celková zrnitost, relativní velikost zrn, stupeň omezení zrn minerálů, habitus krystalů, zvláštní vztahy mezi minerály, uspořádání krystalů a další charakteristiky.

Jsou různé aspekty, podle kterých lze určit danou strukturu horniny, a následně k ní přiřadit charakteristický název. V krátkosti jsou zde uvedeny základní strukturní znaky plutonických hornin. Díky plnému vykrytalizování jsou u plutonických hornin hlavní minerály zřetelné pouhým okem, bez přítomnosti vulkanického skla, tudíž se nazývají holokrystalické. Minerální asociace běžně obsahují hydroxilový iont OH^- , ale vyskytují se i v suché asociaci, kde případnou vodnou složku nahrazuje fluor. Zrna křemene jsou obvykle undulózní. Dalšími strukturními znaky mohou být perthitické draselné živce s odmíseným albitem, nebo výskyt deuterických přeměn způsobených hydrotermálními roztoky, které napomáhají ke vzniku některých minerálů s hydroxilovými ionty OH^- (Krist 1967).

3.3.3. Textura

Tradičně se textura určuje podle stavebních znaků patrných v hornině. Znaky jsou podmíněny relativním rozložením po povrchu. U některých jevů jsou rozdílné rysy struktur a textur setřené, tak dochází ke komplikacím s jejich určením. Základní dělení textur bývá dvojí, a to dle míry vyplnění dutých prostor nebo podle prostorového uspořádání zrn minerálů (Holub 2002).

U prvního jmenovaného řazení jsou dva druhy textury pro plutonity typické, miarolitické a kompaktní, jenž jsou podskupinou masivní textury. Miarolitické patří k plutonitům, u kterých jsou přítomny dutinky po plynech, často ohraničené automorfně vyvinutými krystaly. Tato textura se může vyskytovat u mělce intruzivních granitů a syenitů. Častější bývá kompaktní typ, který neobsahuje žádné dutiny, hornina tak má minimální pórovitost.

U prostorového uspořádání zrn v granitických horninách se používají názvy textur jako všesměrná, páskovaná, laminární, zvrstvená a orbikulární (kulovitá). Všesměrná nenaznačuje žádné přednostní uspořádání. Páskované, laminární či zvrstvené uspořádání ukazuje polohy lišící se navzájem složením, barvou nebo zrnitostí. Orbikulární textury jsou typické přítomností kulových a elipsoidních útvarů s daným uspořádáním minerálů kolem krystalizačních center (Deer et al. 1996).

3.4. Klasifikace

Při zařazování horniny jsou odlišné metody klasifikace, které pomáhají ke správnému určení jména na základě chemického či mineralogického složení.

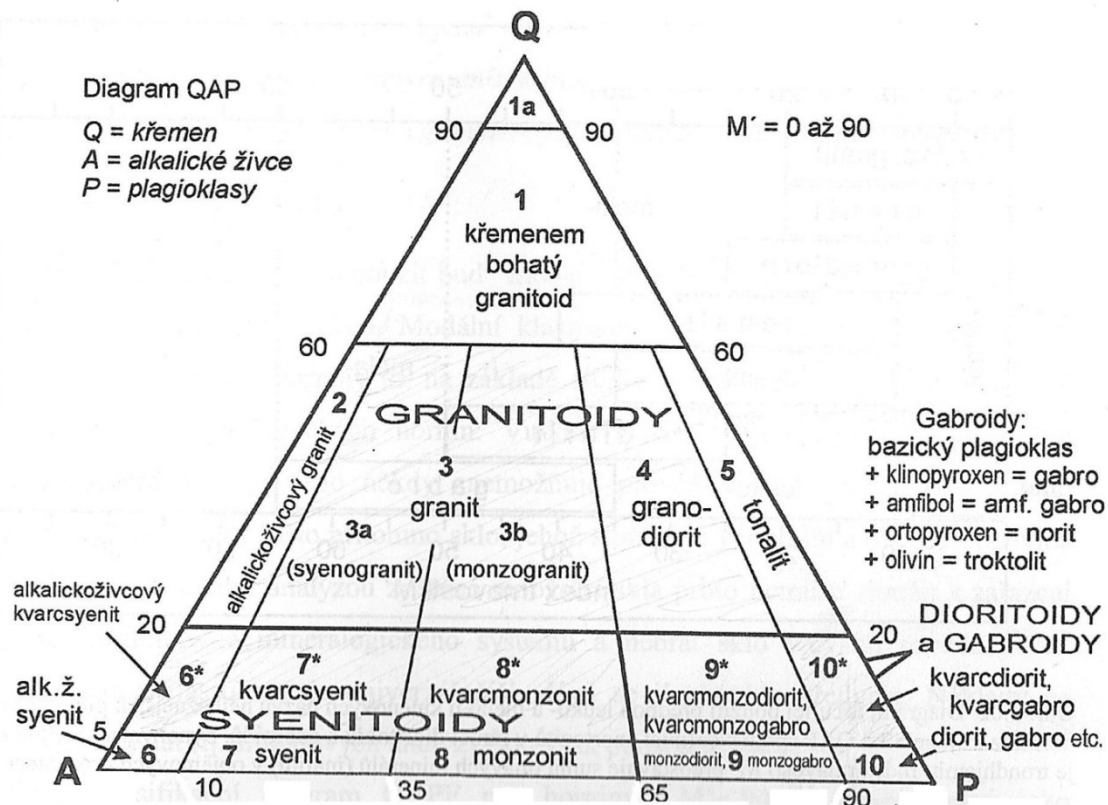
3.4.1. Klasifikace na základě chemického složení

Chemické klasifikační systémy byly obvykle založeny na přepočtech obsahů hlavních oxidů z chemické analýzy na určité parametry, umožňující celkový chemismus lépe porovnat a uspořádat. Zejména je důležitá norma vzniklá v USA se zkratkou CIPW. Složitý petrochemický přepočet, vyjadřuje chemické parametry hornin ve formě obsahů teoretických normativních minerálů, tradičně zapisovaných v jednotkách hmotnostních procent. Všechny normativní minerály jsou bezvodé, tudíž neobsahuje hydroxilový iont OH^- .

Výsledek přepočtu pro horniny s vodnou minerální asociací je značně vzdálený skutečnému složení, to však není na škodu, jelikož je cílem posoudit chemické parametry horniny a následně je srovnat s jinými horninami. Dobrat se ke skutečnému modálnímu složení není cílem metody (Pirsson et al. 1903).

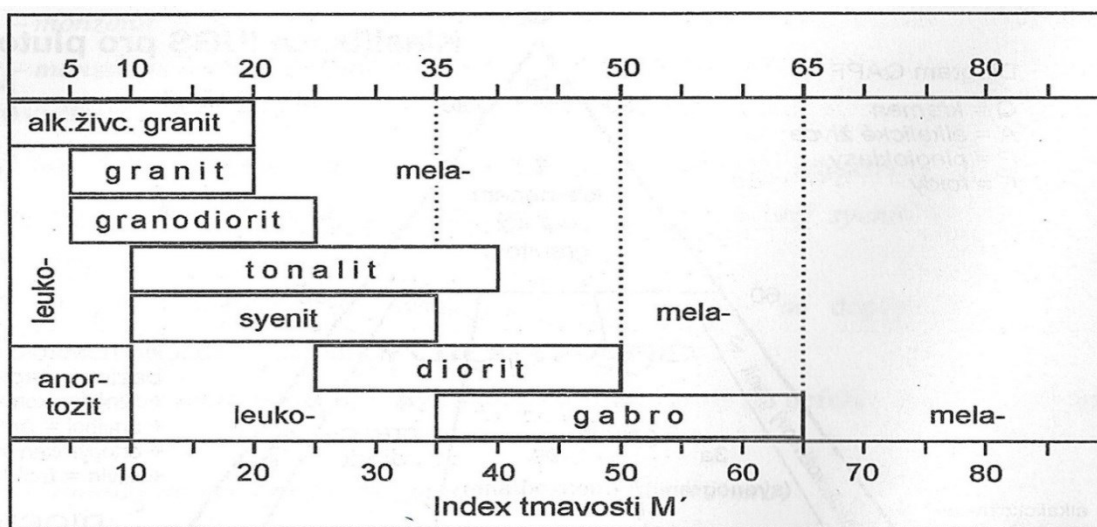
3.4.2. Klasifikace na základě modálního složení

Na území České republiky se v minulosti používal poměrně jednoduchý kvantitativně mineralogický systém v úpravě Dr. Bohuslava Hejtmána. Jednalo se o klasifikační tabulku, která se postupně obměňovala a zlepšovala. Ale toto schéma bylo nahrazeno celosvětově respektovaným modálním klasifikačním systémem magmatických hornin, který vypracovala v sedmdesátých letech 20. století subkomise IUGS (Obr.1).



Obr.1. Klasifikační diagram QAP s názvy polí pro plutonity v modální klasifikaci IUGS. (Holub 2002, upraveno)

V průběhu let došlo k mnoha úpravám, a to spíše na poli rozšiřování a za pomoci účelem zpřesnit určení hornin podle dílčích schémat, než na původních diagramech. Zřetelné rozdíly mezi Hejmanovou tabulkou a klasifikací IUGS jsou například definované hraniční hodnoty mezi horninami a odlišné přidávání adjektiv, které nám přibližují přítomnost vedlejších minerálů (Obr. 2) (Holub 2002).



Obr.2. Diagram, určující použití předpon leuko- a mela- u kmenových názvů plutonických hornin v trojúhelníku QAP spolu s definicí anortozitů v rámci dioritoidů a gabroidů. Index tvavosti M' představuje sumu tvavých minerálů v objemových procentech. (Holub 2002)

3.4.3. Genetická klasifikace

Genetická klasifikace, zkráceně nazývána typologie, umožňuje dále rozdělovat granitoidy podle jejich výchozího materiálu, z kterého se stalo plutonické magma. Rozlišuje se především pět typů: *I*, *S*, *H*, *A* a *M*.

První dva se nazývají základními typy z důvodu větší četnosti, ale vyskytují se horniny i se smíšeným charakterem těchto dvou typů, který má označení *I/S*. Druh s názvem *I* představuje produkty anatexe starších magmatických hornin intermediálního až bazického složení, které jsou především obsaženy ve svrchním plášti. Granitoidy genetického označení *S* vznikly z natavení metasedimentárních komplexů za relativně nízkých teplot. Původní protolity byly nejspíše pelitického až drobového složení obsahující slídy.

Dalším, méně častým typem jsou tzv. hybridní granity *H*. Mají podobné složení jako typ *I*, ale obsahují charakteristické mafické uzavřeniny neboli mikrogranulární enklávy. Představuje tak nedokonale smíšené frakce mafického magmatu, které mají vyšší teploty tavenin a při kontaktu s granitoidním magmatem rychle chladnou (Holub 2002).

Alkalickoživcové granity, které charakterizuje vyšší obsah alkálií vůči hliníku, se označují písmenem *A*. Mají zvýšený výskyt fluoru a jiných stopovacích prvků na úkor vody, proto byly schopny intrudovat do relativně mělkých pater kontinentální kůry. Jejich výskyt je spjatý s vnitřní částí kontinentální litosférické desky a kontinentálních riftů.

Posledním typologickým druhem granitoidů je *M*. Označení *M* představuje bazické jinak subalkalické magma ze svrchního pláště, které je reprezentováno spíše tonality. Do této skupiny se zapojují i železem bohaté komplexy tzv. granofyry. Genetická klasifikace hornin je často subjektivní, a bez výsledků rozborů odhalujících obsažené prvky a jejich poměr, záleží především na zkušenostech hodnotící osoby (Pitcher et al. 1997).

4. Kamenné klenbové mosty

4.1. Základní charakteristika

Kámen byl dříve jediným materiálem, z něhož bylo možno budovat mosty, které měly dlouhou životnost. Původ konstrukce kamenných mostů sahá daleko do minulosti, ale dodnes se zachovaly stavby, které mají významnou historickou hodnotu a častokrát jsou stále funkční. Vzhledem k tehdejším dopravním možnostem se při výběru druhu kamene významně hledělo na vzdálenost lomu od dané stavby, tudíž ve většině případů se snadno nalezne zdroj použitého typu horniny. V současné době se kamenné mosty již nestavějí z důvodů náročnosti práce při opatřování a zpracování materiálu, tyto problémy se projevují i při samotné stavbě. Období uplatnění kamene jako materiálu na mostní konstrukce trvalo až do konce 19. století. Nyní se kamenné zdivo používá především na obezdívky části mostů, zejména pilířů a opěr v místech nepříznivého namáhání, jako jsou nárazy či vystavení účinku agresivních vod (Vítek 1978). Převážná část těchto typů mostní konstrukce má velmi dlouhou životnost. Nejčastější příčinou poruch je opotřebení, neboli urychlené stárnutí materiálu v kombinaci s chybami v návrhu a realizaci, včetně změn využití objektu, které vedou k rozdílu působících podmínek (Polák et al. 1980).

4.2. Klenby a průčelní zdi

4.2.1. Konstrukční řešení

Převládající stavební prvek v návrzích kamenných mostů byl především oblouk neboli klenba. Tento statický prvek maximálně využil odolnosti kamene proti tlakovým silám, naopak se vyvaroval tahovým namáháním. Menší překážky se přemostují jednoduchými klenbami, pro delší přemostění se využívají spojitě klenby. Tvary těchto oblouků mohou být půlkruhové, segmentové, eliptické či méně používané lomené a nesouměrné (Tomica 1992).

Rozdíly v konstrukcích kleneb se také liší podle opracování kamene, který se dělí na nepravidelný lomový kámen, na vrstvené zdivo či tesaný kámen. Nejrozšířenější klenby jsou z tesaného kamene, kde jsou tzv. klenáky zpracovány podle přesně předepsaných rozměrů. Dále jsou tyto klenáky vyspárovány kolmo k líci klenby. Styčné spáry se střídají, čímž může rozpětí klenby dosáhnout až 80 metrů (Vítek 1978).

4.2.2. Poruchy

Nejnáchylnější částí mostu na poškození jsou průčelní zdi, namáhané zemním tlakem, působícím kolmo k ose mostu. Je to zejména důsledkem zvyšujících se nápravových tlaků projíždějících vozidel a zvětšující se frekvence provozu, které vedou ke zvyšujícím

se dynamickým účinkům. Dochází tak k potrhání zdiva v ložných či styčných spárách, hlavně na místě oddělující klenbový věnec od ostatního klenbového zdiva. Samotné klenby bývají často narušeny trhlinami rovnoběžnými s osou mostu, které vznikají kvůli přetížení klenby průčelní zdi vlivem zvýšeného vodorovného tlaku výplně nebo absencí dilatační spáry, i když problémy s objemovým rozpináním trpí hlavně mostovky z betonu. Podélným trhlinám na líci klenby jsou podobné i trhliny na rubu klenby. Příčiny jsou zejména zvýšená vlhkost kvůli špatně provedené izolaci nebo vliv odlišných tuhostí použitých materiálů například ve struktuře klenby a nástavbě.

V obou případech podélných trhlin, u líce i rubu, jsou nebezpečné až pokračující deformace. Jinak řečeno, rovnoběžné trhliny nepředstavují samy o sobě riziko, protože nemění způsob přenášení sil do základů a ve své podstatě nahrazují dilatační či pracovní spáry, které se v moderním pojetí konstrukce tvoří záměrně. Opět je zde nebezpečí, že případné poškození izolace a zatékání vody, může umocnit následky podélných prasklin. Více nebezpečné jsou spáry vychylující se z vertikální roviny, šikmé k průčelí mostu. Podél podobných spár dochází k uvolnění a vypadnutí klenáku; pokud je trhlina v oblasti klenbového věnce, tak může nastat i zřícení celé klenby (Polák et al. 1980).

4.3. Pilíře

4.3.1. Konstrukce a funkce

Pilíře přenášejí výslednice sil působících v přilehlých klenbách do základů. Svislé pilíře jsou namáhány především svislými a šikmými silami, na které jsou konstruovány. Vodorovné síly působí na pilíře například při brzdění vozidel na mostovce.

Pokud se navrhuje pouze působení sousedních klenb, nazývají se pilíře jednoduchými. U dlouhých mostů s větším množstvím polí se budují skupinové pilíře, které jsou silnější a schopny odolávat i jednostrannému tlaku klenby. Navrhují se z důvodu, že při zřícení klenby v jednom poli se nezničí celý most, a také aby nebylo třeba skruže při stavbě celé délky mostu, nýbrž pouze v jednom úseku mezi skupinovými pilíři (Vítek 1978).

4.3.2. Poruchy

Závady na spodní stavbě mostů většinou signalizují poruchy základů těchto objektů. Ve většině případů se neprovádí pravidelná kontrola stavu základů a podloží mostů, protože to ani běžnými metodami není dobře technicky možné. Jednoduché prohlídky začínající poruchy neodhalí, jediné až když se projeví na pilířích a opěrách (Vítek 1978).

Příčiny poruch v základech se rozdělují na dvě hlavní skupiny. Prvním jsou poruchy způsobené překročením únosnosti podloží. Tento druh poškození nastává několika ději např. nadměrné

přetížení mostního objektu, změnou kvality podloží způsobenou vnějšími vlivy, změnou režimu podzemní vody atd. Nejběžněji dochází k přetěžování, jestliže se na objekt zavede nový druh dopravy či se kvalitativně změní její složení. Změnu stability podloží mohou mít na svědomí blízká stavební činnost, důlní činnost a podzemní práce. Obdobné problémy vyvolává rozdíl v hladině podzemní vody, pokud klesá hladina, dochází ke snížení vztlaku, tudíž se zvýší tlak na základovou spáru. Druhá skupina poruch zasahuje základy konstrukce a její prvky. Z tohoto typu poruch jsou nejčtenější poškození pilotů. Příčinou snížení kvality pilot a snížení jejich únosnosti bývají mechanické vlivy, chemismus či změny režimu okolní vody, často se kombinují s dalšími faktory jako poddimenzování, přetížení a jim podobné. Snížení únosnosti celého základu se vyskytuje nejčastěji u návodních pilířů mostu přes tok s opakující se prudkými povodňovými průtoky, kde často dochází k podemílání základů (Polák et al. 1980).

5. Most Legií v Praze

5.1. Historie

5.1.1. Úvod

Mezi pražskými nezelezníckými mosty přes Vltavu se most Legií řadí dobou výstavby v letech 1898 až 1901 na třetí místo (po mostu Karlově a Palackého mostu). Zároveň je posledním mostem, jehož celá konstrukce byla vyžděna z kamenných kvádrů, všechny následující mosty již byly železobetonové, u nichž použití přírodního kamene bylo spíše sporadické, často dekorativní. Oba kamenné klenbové mosty z 19. století – Palackého most a most Legií – jsou navíc zajímavé tím, že na rozdíl od Karlova mostu mají veškeré nosné konstrukce vyžděné z žulových kvádrů. Převažující použití žuly ve stavebnictví a architektuře je pro dobu druhé poloviny 19. století a počátku 20. století typické (Přikryl 2019 pers. comm).

5.1.2. Předchůdce mostu Legií

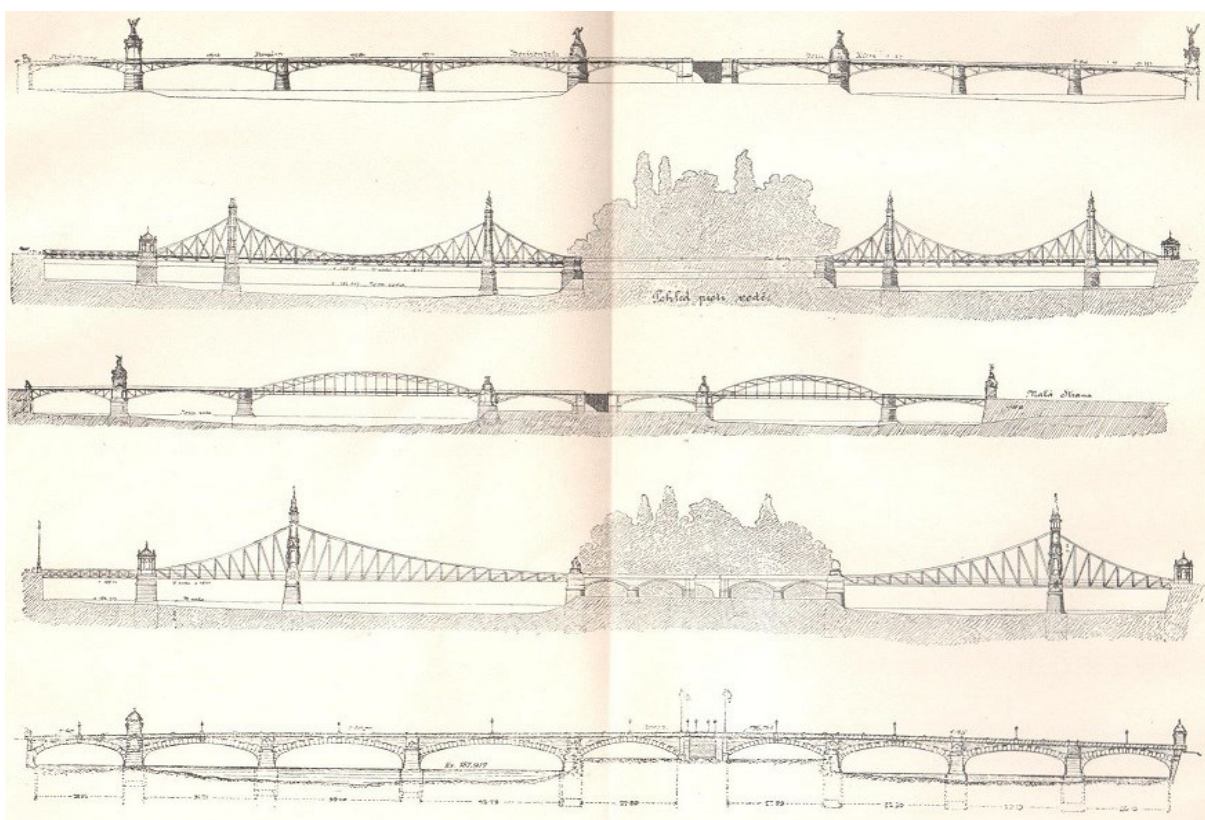
Současnému mostu Legií však předcházela stavba starší – řetězový most Františka I., postavený firmou Vojtěcha Lanny podle plánů c. k. inženýra Friedricha Franze Schnircha v letech 1838-1841. Řetězový most měl přinést zlepšení komunikačních a dopravních poměrů přes řeku Vltavu v blízkosti tehdy se prudce rozvíjejícího pražského předměstí Smíchova. Četná pochybení při výstavbě a podcenění konstrukce byly hlavní příčinou tohoto jinak velkolepého stavebního počínu.

Řetězový most se skládal ze dvou stejně dlouhých částí, které se setkávaly na kotevním pilíři uprostřed Střeleckého ostrova. Tento středový pilíř sloužil jako společné, ale nezávislé kotvení nosných řetězů. Na nábrežních stranách zajišťovaly přístup na most nájezdové rampy, lehce vystupující nad okolní terén, které současně plnily funkci kotevních těles. Hlavním prvkem

u tohoto typu mostů jsou samozřejmě řetězy, které zde byly přetaženy přes válcovitou část dvojdílného kluzného ložiska ve výšce 10,5 metrů na 4 pilotech, nacházející se každý na krajích jednotlivých částí mostu. Dále byly na příčné nosníky položeny podélné ocelové prahy pobité natěsno fošnami o tloušťce 8 cm, které sloužily jako vozovka. Celková délka řetězového mostu byla 412,74 m, šířka mezi zábradlími měřila 9 m (Semerád a Havrda 2016).

Na počátku byl most ceněn za jeho nízkou cenu nákladů (uváděno přibližně 330 000 zlatých), ale po přezkoumání odborníky v roce 1870 bylo odhaleno, že konstrukce již v počátcích neměla takovou únosnost, než jaká mu příslušela. Tomu napomohlo zhotovení řetězů ze železa nižší jakosti, než bylo předpokládáno, proto došlo k omezení provozu na mostě. Těžké vozy byly proto odkláněny přes Karlův most. Akciové společnosti byly nařizeny opravy, ale po 10 letech byl most ve stejně špatném stavu, proto byla nařízena brzká přestavba konstrukce. Akciová společnost byla opět nečinná.

Nakonec ke konci roku 1885 Obec pražská tento řetězový most odkoupila i s právem na vybírání mýtného. Po převzetí bylo rozhodnuto, že místo stávajícího řetězového mostu bude vystavěn most nový (Soukup 1904). V architektonické soutěži, konané v roce 1889, jednoznačně vyhrál návrh Ing. Josefa Janů, Ing. Jiřího Soukupa a architekta Antonína Balšánka (viz Obr. 3, nejnižší uvedený návrh).



Obr. 3. Přehled soutěžních návrhů, oceněných v rámci soutěže o výstavbu nového mostu v místě dosluhujícího řetězového mostu (převzato ze Soukupa 1904).

5.1.3. Most Legií

Na přelomu 19. a 20. století byl vystavěn nový most na místě původního, zprvu nesoucí i název svého předchůdce – tedy most Františka I. Po vyhlášení samostatné Československé republiky byl most v roce 1919 přejmenován na most Legií (na počest československých legionářů). Za protektorátu byl přejmenován na Smetanův most (podle skladatele Bedřicha Smetany). Po skončení 2. sv. války se mu navrátilo prvorepublikové jméno, avšak již v roce 1960 dostává nové jméno – most 1. máje (podle mezinárodního svátku práce). Od roku 1990 se název mostu vrací k prvorepublikovému mostu Legií.

Kamenná klenbová konstrukce nově budovaného mostu přestavovala starší typ mostovky, než disponoval jeho předchůdce; zato s ní stavitelé měli větší množství zkušeností. Základní kámen byl položen na počátku srpnu roku 1898. Výstavby mostu se ujala pražská pobočka uherské firmy G. Gregersen a synové (Fisher a Fisher 1985).

Nejdříve začaly práce na straně malostranské, kde byl navrhnout příbřežní pilíř. Součástí prací byla i demolice konstrukce řetězového mostu (Obr. 4). I když to dobové zdroje neuvádějí, lze předpokládat, že část kamenných kvádrů byla použita na nově budovaném mostě.



Obr. 4. Dobová fotografie z roku 1899 (autor Jindřich Eckert), dokumentující počátky prací na levém (malostranském) břehu (převzato z Bečkové 2015, 82).

Zprvu byla zajištěna lešení pomocí ručních a parních beranidel. Pilíře obklopeny vodou byly zakládány ve většině případů za pomoci kesonů. Základy se vybetonovaly v nosné vrstvě břidlic přibližně do hloubky 20 cm. Malostranský pilíř, který byl omýván Vltavou jen z půli, se vystavěl díky odclonění řeky dvojitou řadou štětovic vyplněných jílem (Obr. 4).

Základy pilířů na Střeleckém ostrově se podle plánů ponechaly do výšky patek segmentů, což znamená, že zde zůstalo původní lomové zdivo. Klenby byly vystavěny za pomoci skruží, lešení, kolejí a jeřábu. Skruže držely daný tvar oblouků, pomocí lešení a provizorních kolejí byly dopravovány žulové kvádry k pojízdnému jeřábu, který je umisťoval na místo v klenbové konstrukci. Nejdříve byla sestavena celá spodní vrstva žulových kvádrů na sucho. Poté 12-15 mm spáry mezi kameny byly vyplněny a napěchovány cementovou maltou, která měla poměr směsi 1 díl cementu a 3 díly prosetého ostrohranného vltavského písku. Pak byla stejným postupem osazena i druhá vrstva nosných kvádrů. Po zatvrdnutí malty se konalo vyskružení, které spočívá v uvolnění klenby od spodní podpory. Sednutí bylo v mezích, a objevily se i obvyklé vlasové trhliny, které teorie kleneb předpokládá. V následujícím roce 1900 byly dokončovány práce na klenbách u malostranské části mostu. Dále se vyzdívaly parapetní zdi, které tvořily cihly s hydraulickou maltou a obkladem z hořického pískovce, poté došlo k osazení říms a zábradlí. Klenby se pak pokryly 10 cm mocnou vrstvou betonu, 3 cm izolační vrstvou asfaltu a vytvořilo se mosazné odvodňovací potrubí (Soukup 1904).

Na počátku roku 1901 byly pokládány inženýrské sítě a potrubí, které přišly pod plánované chodníky na vrstvu písku, zároveň s tím byly položeny koleje pro elektrickou dráhu a dlažba vozovky z žulových kostek, jež nebyly kladeny přímo na asfalt, ale na vápenitý násyp, tzv. stavební rum. Stavba mostu trvala přes 3 roky, a tvořilo jí 10 pilířů, 9 mostních oblouků, mírné nájezdové rampy, mostovka a v neposlední řadě 4 mýtné domky u vstupních pilířů (Míčka, Junek a Hvízdal 2017).

5.1.4. Přírodní kámen mostu Legií

Pro stavbu mostu byly použity horniny z českých kamenolomů, které vyhovovaly danému účelu a místu osazení. Dle záměru projektantů byla brána v potaz i barva kamene, jelikož chtěli na mostní konstrukci zakomponovat národní barvy (Soukup 1904).

Materiál kleneb a těl pilířů je větší částí z povltavské žuly, nadezdívky jsou z hořického pískovce, jež plní funkci nosnou a zároveň nepřetěžuje postranní části kleneb. Polopilíře nad zhlavími u nadezdívek pilířů skupinových byly postaveny z červené žuly rtišovické, ale u ostatních polopilířů byl použit syenit. Balustráda mostu je provedena z žuly modré a červené, doplněna dekoračními kuželkami z hořického pískovce. Žula byla dodávána z tehdejších arcivévodských lomů (požárská žula), lomů firmy Jana Cingroše v Plzni, Josefa Hejreta

v Plzni, Duchoně a Habady v Březí, Josefa Hajníka v Černívsku, Hynka Chomouta Šebanovicích, Maxe Palečka v Českém Krumlově, Jaroslava Pokorného v Krtech, Vojtěcha Příbyla v Čakovicích, knížecího lomu Schwarzenberského u Vorlíku, lomu firmy G. Gregersen v Jesenicích a Voráčově u Rakovníka. Červená žula pochází z lomu u Rtišovic nedaleko Milína a žlutá žula od Železného Brodu (Kaplan a Balšánek 1901).

Kamenicko-sochařské práce vykonával Ferdinand Palouš, který byl mistr kameník v Praze. Obtížnější kamenické práce probíhaly díky Arcivévodskému lomu v Konopišti, Janu Cigrošovi z Plzně a Josefu Víškovi z Královských Vinohrad. Dále byli na stavbě přímo zaměstnání Josef Hofmann jako mistr kameník a zároveň Koniček Jan a Alois jako vedoucí zednických prací (Kaplan a Balšánek 1901).

5.2. Analýza odebraného vzorku žuly

Součástí průzkumných prací lícního zdiva mostu Legií byl rozsáhlý odběr vzorků navětralých částí hornin a jejich povrchových vrstev (Příkryl 2019). V rámci této bakalářské práce byl studován jeden ze vzorků zmiňovaného průzkumu. Místem odběru vzorku byla čelní severní strana mostu nad pilířem, kde se nachází hrubě zrněný granit červené barvy. Daný výbrus byl označen jako ML-P4-1 (Příkryl 2019). Předmětem bádání byly minerální fáze vzorku, a to jak původní horninotvorné minerály, tak možné druhotné fáze vzniklé v důsledku zvětrávacích procesů. U zrn minerálů se zjišťoval chemismus, jejich tvar a okolní omezení. Dále byly vytvořeny mapy hlavních obsažených prvků ve vybraných oblastech výbrusu.

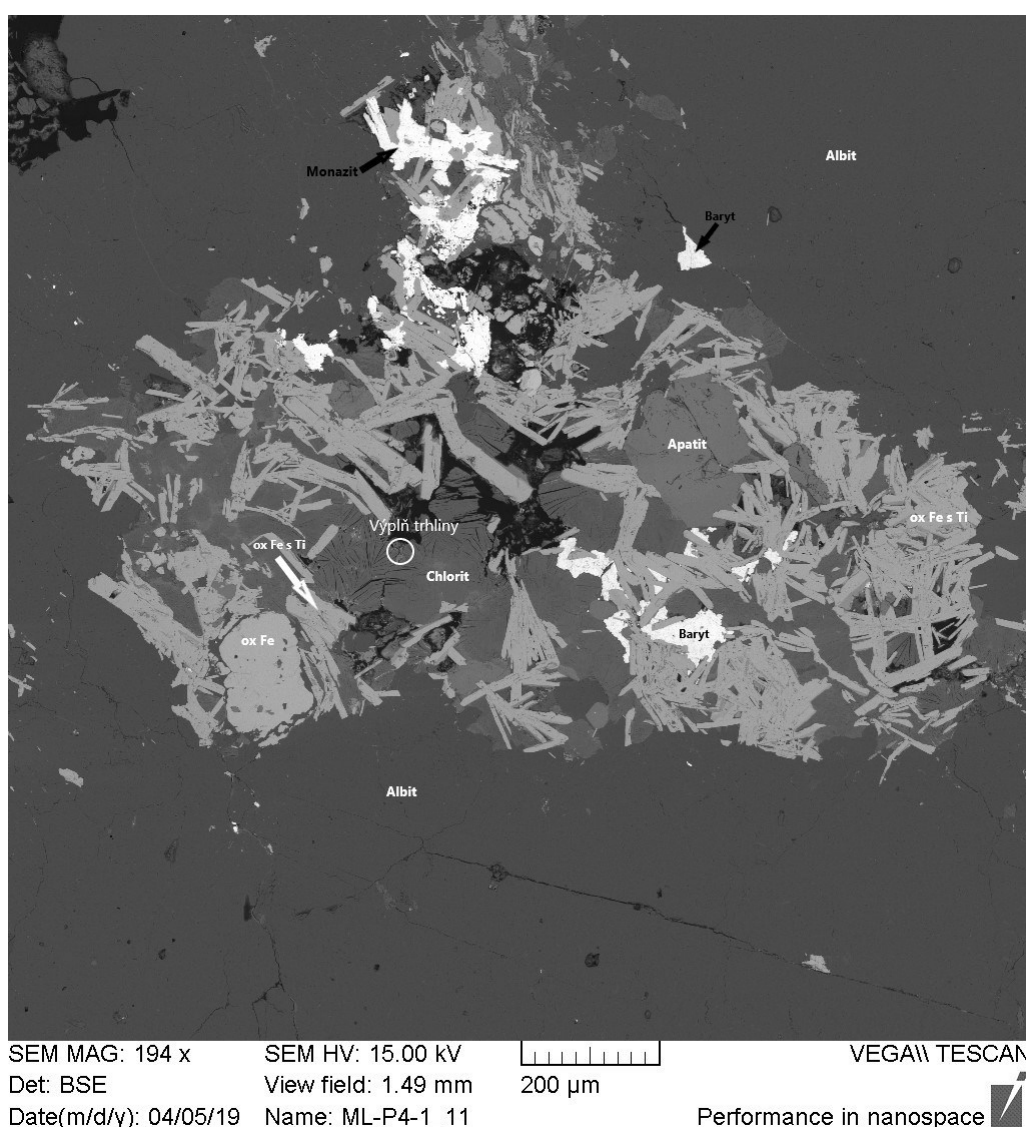
Zkoumání probíhalo díky dvěma přístrojům, které má k dispozici Ústav petrologie a strukturní geologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Jako první byl použit skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop se zkratkou SEM, který je od výrobce TESCAN typem Vega s wolframovým vláknem jako zdrojem. Má nainstalované detektory zpět odražených elektronů - BSE, sekundárních elektronů - SE, katodové luminescence - CL a systém energiově disperzního spektrometru - EDS od výrobce Oxford Instruments. Druhým využitým zařízením byl elektronový mikroanalyzátor EPMA JXA-8539, který disponuje Schottkyho katodou jako zdrojem. Zde byla možnost použít kvantitativní analýzy prvků díky pěti vlnově disperzním spektrometrům - WDS. Dále je vybaven i BSE, SE, EDS a integrovaným systémem CL spektrometrie xCLent. (Reed 2005)

Podmínky měření nastavené u přístrojů byly následující. Použité urychlovací napětí bylo u přístrojů vždy stejné 15kV, ale odlišné hodnoty byly u směřovaného proudu svazku. U elektronového mikroskopu TESCAN byl proud svazku při kvalitativní analýze 1,5 nA a při

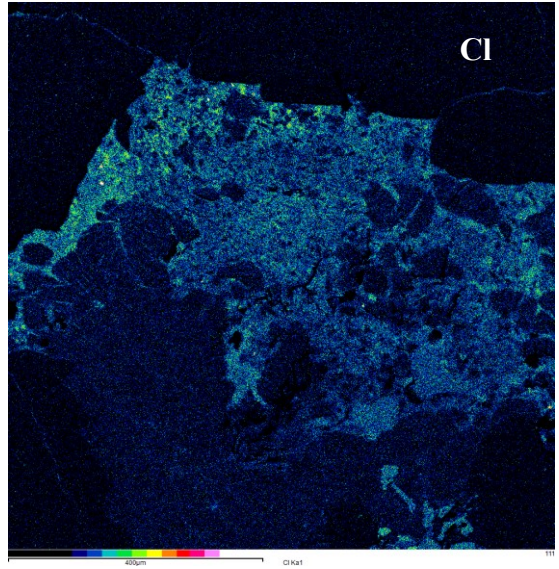
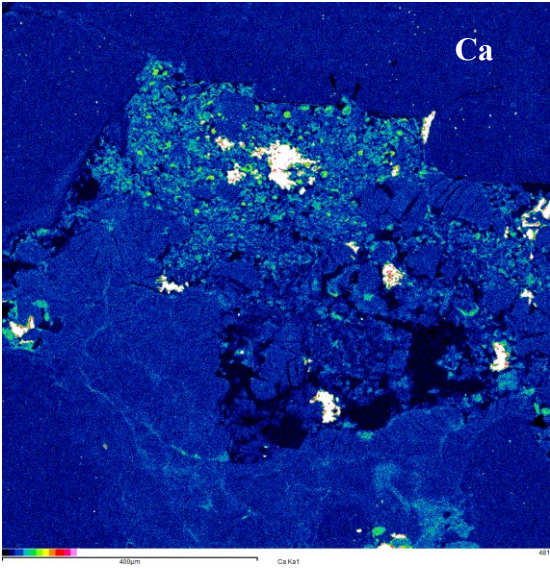
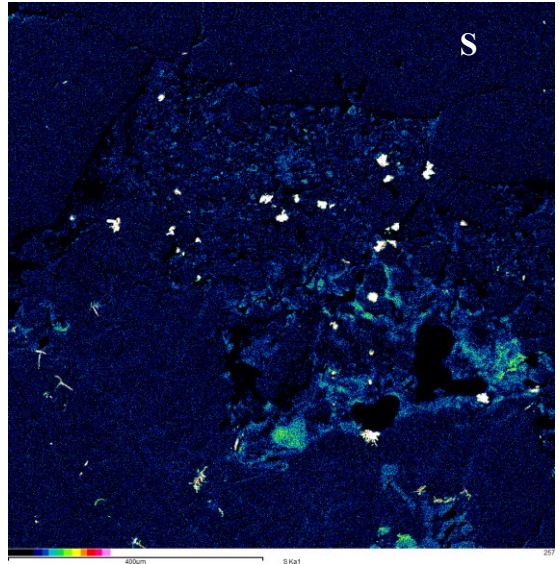
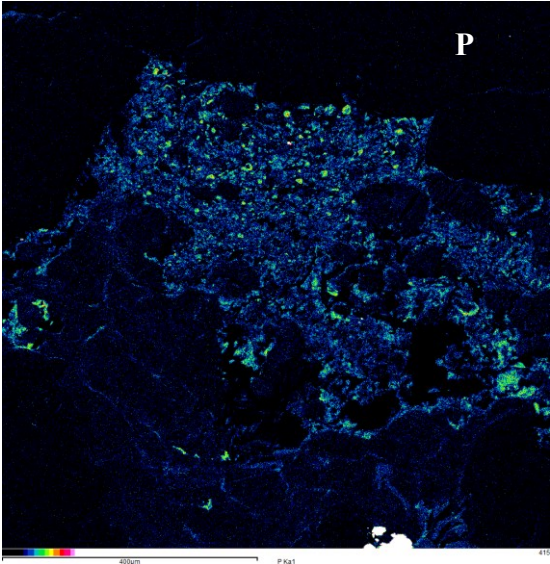
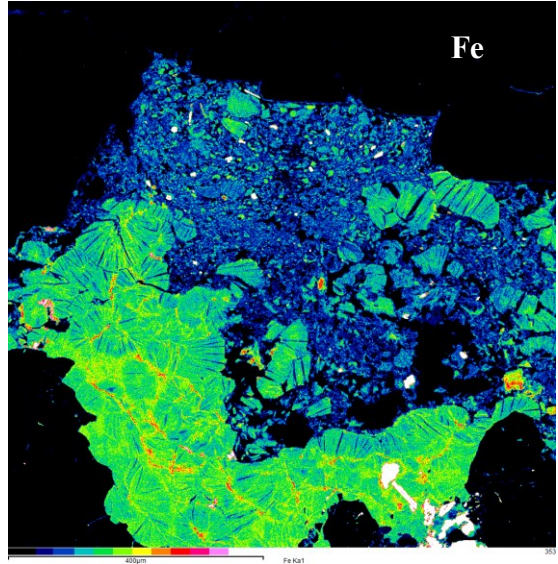
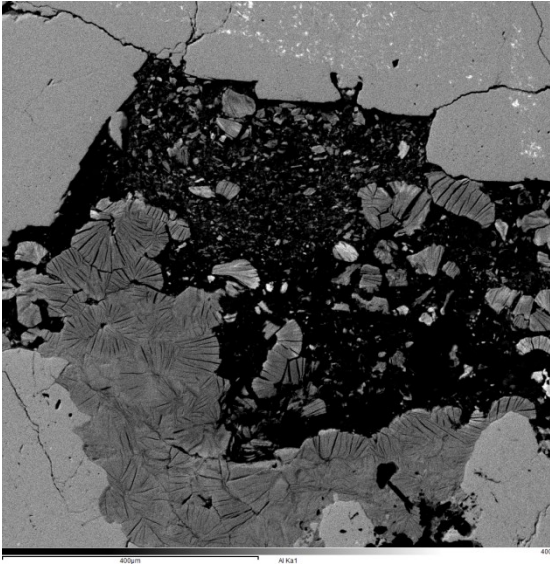
kompozičních mapách 7 nA. Elektronový mikroanalyzátor byl nastaven na 15 nA a v průběhu kvalitativní analýzy na 80 nA, stejně tak u kompozičních map.

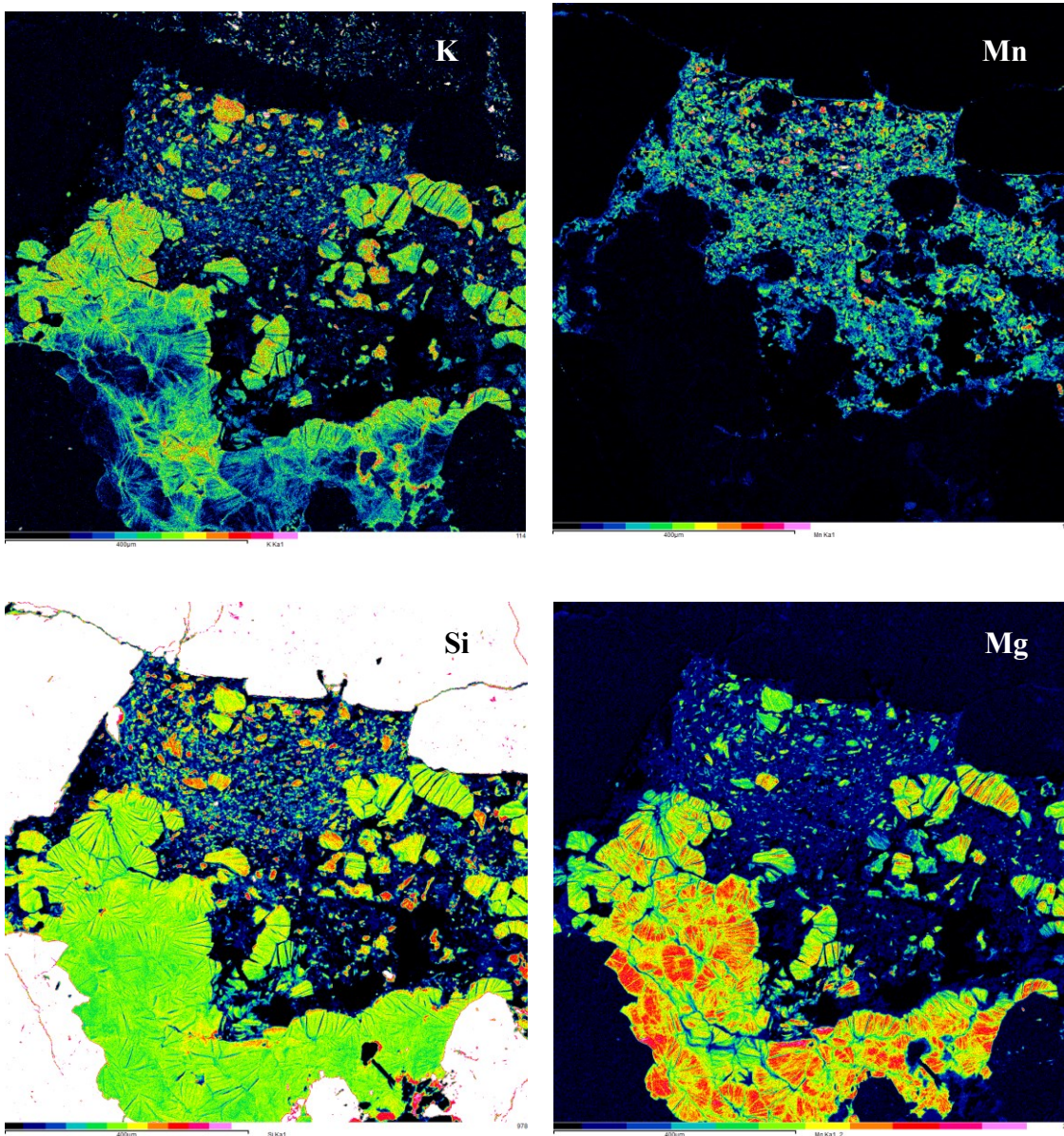
Zkoumaný vzorek ML-P4-1 byl nejdříve pozorován pomocí SEM, v němž byl zjištěn převážný obsah sodného živce, neboli albitu (Obr. 5, 6), poté méně zastoupené minerály jako chlorit, oxidy železa nebo apatit, a dále akcesoricky se vyskytující baryt, rutil, zirkon, a monazit. Dále byly detekovány mikrotrhliny, které často vyplňovaly rozložené zrna okolních minerálů s vysokým obsahem vody.

Pomocí elektronového mikroanalyzátoru EPMA byly studovány jiné oblasti vzorku (Obr. 7, 8). Na rozdíl od výše uvedené části vzorku se zde objevuje akcesorický zirkon a rutil. Při bližším pohledu se zjistily zonálnosti minerálů chloritů a apatitů.

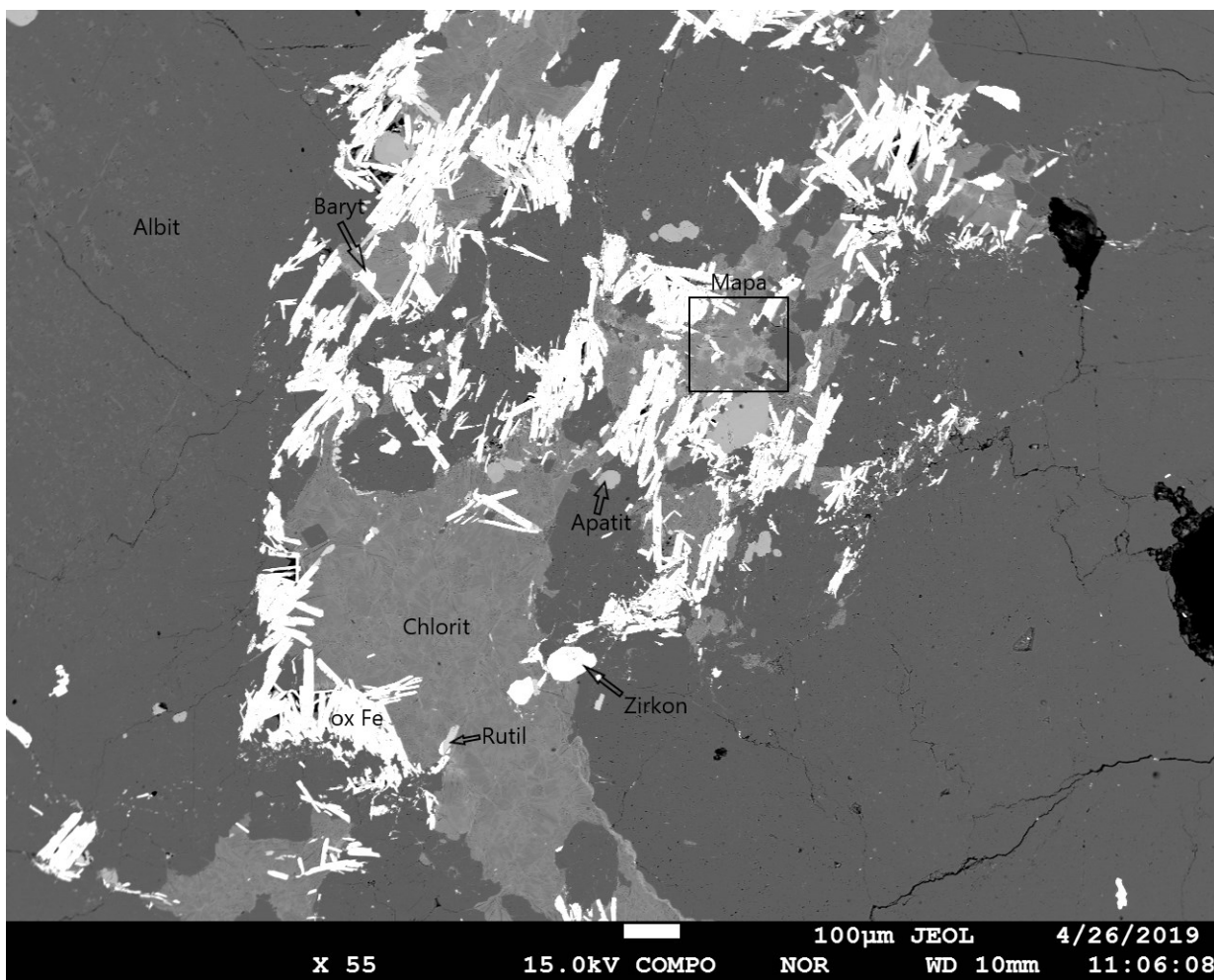


Obr.5. Části vzorku ML-P4-1 ze SEM v BSE. Výskyt minerálů albitu, chloritu, apatitu, barytu, monazitu a oxidu železa.

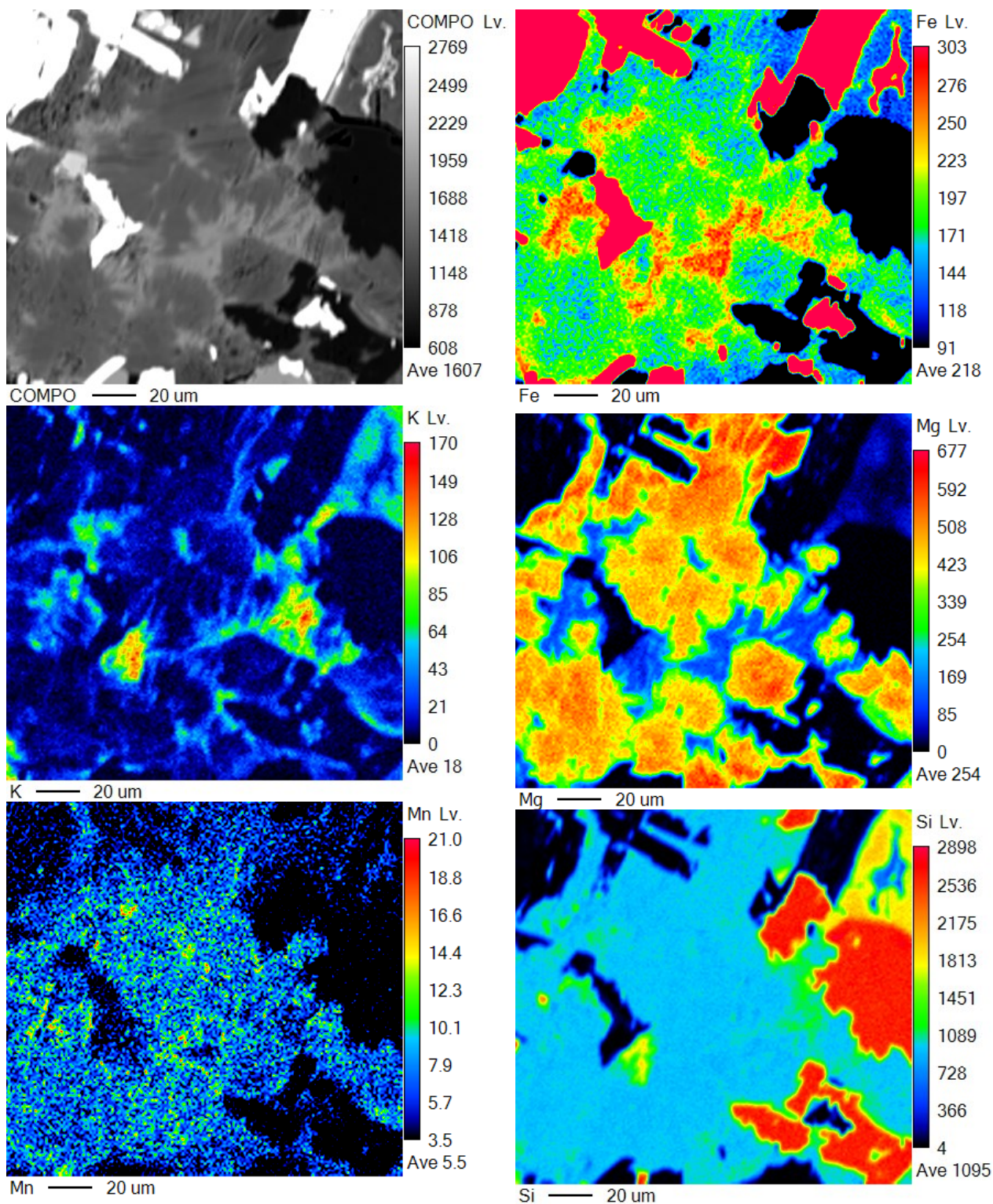




Obr.6. Série prvkových map s první mapou v BE ze SEM vzorku ML-P4-1. Teplé(červená) barvy značí největší koncentrace prvku. Vzdáleností měřítko je 400 μm. Obrázky jsou zmenčeny 1:5.



Obr.7. Část vzorku ML-P4-1 z EPMA v BSE. Obsažené minerály a vyznačená oblast dále vytvořené mapy prvků (Obr.4). Obrázek je zmenčen 1:2.



Obr.8. Série prvkových map s první mapou v BE z EPMA vzorku ML-P4-1. Teplé(červená) barvy značí největší koncentrace prvku. Vzdáleností měřítko je 20 µm. Obrázky jsou zmenčeny 1:1,5.

Při prvotním pozorování za pomoci skenovacího elektronového mikroskopu se zaměřilo na složení mikrotrhlin ve střední části výbrusu, která mohla být způsobena zvětrávacími vlivy působící na svrchní vrstvu granitu, odkud byl vzorek odebrán. Z analýzy zastoupený látek a koncentrací prvků znázorněných v prvkových mapách se odvozuje, že dochází k pomalému

rozkladu okolního chloritu, dále se ve směsi nachází zrna apatitu a malá zrna rutilu (Obr. 6). Na chloritu jsou zřetelné štěpící se části podle podélných linií, v jejichž okolí dochází k úbytku pevnosti minerálu. Ze zbylého minerálu apatitu se vytvořila nepravidelná zrna, zachycené v mikrotrhlině bohaté na vápník. U rutilu byla podobnost s výskytem síry, ale zde může docházet také k přínosu této látky do horninového komplexu zvenčí pomocí transportního média v podobě vody, přesněji v důsledku kyselých dešťů, které mohou zatékat do stavební konstrukce nebo ztékat po stěnách. Tento degradační mechanismus nemohl být ověřen na více odebraných vzorcích.

V práci s elektronovým mikroanalyzátozem byla pozorována oblast s výskytem zřetelných zonálností chloritů a apatitů (Obr. 8). Tyto chemické odlišnosti v jednom celistvém zrně mohou vznikat při krystalizaci horniny. Ale také tyto chlority mohou být důsledkem chloritizace slíd jako je biotit, ke které dochází v nízkoteplotní metamorfóze. Pozorovaná část byla celistvá, takže nejspíše není příčinou změna chemismu pomocí okolních degradačních vlivů. Tento úsudek je však nepodložený a vyžadoval by další studium.

6. Závěr

Tato bakalářská práce v rešeršní části shrnuje hlavní degradační vlivy na kvádrové žulové zdivo v klenbové mostní konstrukci. Jsou shrnuty oblasti fyzikálních, chemických a biodegradačních procesů zvětrávacích dějů, ovlivňující typické vlastnosti a funkčnost žulového kamene. Jmenovány jsou jejich specifické následky a působící poškození, která jsou v praxi často setřené, a proto se nedají přesněji stanovit. Charakterizován je zde také granit samotný, především jeho složení a kvalifikace. Práce dále podrobněji popisuje konstrukci kvádrového zdiva klenbových mostů s hlavními stavebními prvky klenbou a pilíři, kde se žulový kámen nejčastěji využívá. K pochopení problematiky pomáhá vyličení nejčastějších poruch těchto nosných prvků s možnostmi jejich zapříčiněním. Množství těchto informací představuje ucelený pohled na vznik, působení a důsledky degradace žul na kvádrovém zdivu v klenbové mostní konstrukci.

V praktické části se pomocí SEM a EPMA nejdříve určilo zastoupení minerálů a jejich charakter, který vypovídá o vlastnostech zkoumané žuly. Vybrané části vzorku byly zachyceny v BSE, a následně pojmenovány obsažené minerální asociace. Potvrdil se předpoklad výskytu mikrotrhlin, narušujících jednotlivá zrna minerálů. V místě výskytu mikrotrhliny a zájmové oblasti se zonálními zrny minerálu chloritu a apatitů byly pořízeny prvkové mapy. První série prvkových map s mikrotrhlinou, které byla vytvořena za pomoci SEM, vypovídá o obsažených látkách přímo v trhlině i v okolních minerálech. Lze se domnívat, že zde dochází k postupné degradaci rozkladu minerálů v okolí mikrotrhliny vlivem přítomnosti vody a v ní rozpuštěných látek. Pomocí EPMA byly ve druhé sérii pozorovány změny celistvosti zrn, které spíše zapříčinily působící faktory při vzniku či pozdější metamorfóze než pozdější vliv zvětrávání. Tyto mechanismy nemohly být nyní ověřeny na více odebraných vzorcích.

Seznam použitých zkratk

BSE	Backscattered electrons
CIPW	Cross Indexing Pirsson Washington
CL	Cathodoluminescence
EDS	Energy dispersive (X-ray) spectroscopy
EPMA	Electron probe microanalyzer
EPS	Extracellular polymeric substances
IUGS	International Union of Geological Sciences
SE	Secondary electrons
SEM	Scanning electron microscope
WDS	Wavelength dispersive spectrometer

Seznam použité literatury a zdrojů informací

Seznam použité literatury

Deer. W. A. ; Howie R. A. ; Zussman J., An introduction to the rock-forming minerals, second edition, Pearson, 1996, ISBN 978-0582300941

Domenico A. Patrick ; Schwartz W. Franklin, Physical and chemical hydrogeology, second edition, John Wiley and sons, Inc. New York, 1997, ISBN 978-0-471-59762-9

Fischer Jan; Fischer Ondřej, Pražské mosty, nakladatelství Academia, Praha, 1985

Hohmann M., Soil freezing – The concept of soil water potential. State of the art, Cold Regions Science and Technology 25, Elsevier, 1997, s. 101-110

Holub V. František, Obecná a magmatická petrografie, 1. vydání, Nakladatelství Karolinum, Praha, 2002, ISBN 80-246-0614-3

Kaplan Rudolf ; Balšánek Antonín, Nový kamenný most císaře Františka přes Vltavu v Praze, nákladem rady král. hlavního města Prahy, Praha, 1901

Kotlík Petr; Heidingsfeld Viktor; Bláha Jindřich; Vaněček Ivan, 2011, Stavební materiály historických objektů, dotisk 1. vydání, vydavatelství VŠCHT, Praha, ISBN 978-80-7080-347-9

Krist Ernest, Petrografie vyvrelých sedimentárních a metamorfovaných hornin, 1. vydání, Vydavatelství ÚV KSS, Bratislava, 1966, ISBN 68-158-67

Pavlíková Milena ; Keppert Martin, Chemie: Chemie stavebních materiálů, 1. vydání, vydalo ČVUT fakulta stavební, Praha, 2009, ISBN 978-80-01-04237-3

Pirsson Louis V. ; Washington Henry S. ; Iddings Joseph P. ; Cross Whitman., Quantitative classification of igneous rocks : based on chemical and mineral characters, with a systematic nomenclature, The University of Chicago Press, 1903

Pitcher Wallace Spencer, The Nature and origin of granite, 2. vydání, vydavatelství Chapman&Hall, London, 1997, ISBN 9780412758607

Pitter Pavel, Hydrochemie, 5. vydání, vydavatelství VŠCHT, Praha, 2015, ISBN 978-80-7080-928-0

Polák František; Drbal Bedřich; Němý Evžen; Chládek Jiří, Silniční mosty: Rekonstrukce a údržba, vydalo SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1980, ISBN L 17-B3-IV-31/72157

Pospíšil Pavel, Analýza přírodního kamene ve stavebních konstrukcích, časopis Geotechnika, ročník 11., číslo 3., vydavatel Čeněk a Ježek s.r.o., 2008, ISSN 1211-913X

Reed S.J.B., Electron microprobe analysis and scanning elektron microscopy in geology, second edition, Cambridge University Press, New York, 2005, ISBN 978-0-511-12414-3

Růžička Peter, článek Fyzikálne, chemické a biologické procesy zvetrávania vyvolávajúce patologické zmeny prírodných kameňov v mestskom prostredí, časopis Geotechnika, ročník 11., číslo 1., vydavatel Čeněk a Ježek s.r.o., 2008, ISSN 1211-913X

Semerád Matouš; Havrda Jan, článek, Řetězový most císaře Františka I. jako archeologický nález, časopis Staletá Praha, ročník XXXII., číslo 2., vydavatel Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Praze, Praha, 2016

Soukup Jiří, Pražské Mosty: studie se zřetelem na současné podmínky, díl 1., nakladatelství České knihkupectví E. Weinfurtra, Praha, 1904

Strahler Alan H.; Strahler Arthur, Introducing Physical Geography, fourth edition, Wiley, New York, 2006, ISBN 9780471679509

Steiger M, Crystal growth in porous materials-I: The crystallization pressure of large crystals, Journal of Crystl Growth 282, 2005, s. 455-469

Tomica Vladimír; Sokolík Andrej; Zemko Štefan, Údržba a rekonštrukcia mostov, 1. vydání, Vydavateľství Alfa, Bratislava, 1992, ISBN 80-05-01025-7

Twidale C. R. ; Vidal Romani J. R., Land and geology of granite terrains, Taylor & Francis Group plc., London, 2005, ISBN 04-1536-435-3

Turcotte Donald L. ; Schubert Gerald, Geodynamics, second edition, Cambridge University Press, 2002, ISBN 978-0-521-66624-4

Urquhart D. ; Young M. ; Cameron S., Stonecleaning of granite buildings, Technical conservation research and education division, Historic Scotland, Edinburgh, 1997, ISBN 978-1900168397

Vítek Jan, Mosty pro 4. ročník středních průmyslových škol stavebních, 2. vydání, vydalo SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1978

Nepublikované zprávy:

Příkryl Richard, Kamenné kvádry mostu Legií v Praze: zvětrávací jevy a stratigrafie povrchových vrstev, Praha, 2019

Seznam použitých internetových zdrojů

<https://www.reuters.com/article/us-climate-change-greece-monuments/climate-change-is-taking-its-toll-on-greek-monuments-say-scientists-idUSKCN1TQ1F9> [cit.25.7.2019]

http://geologie.vsb.cz/cviceniinzenyrskageologie/KAPITOLY/10_Vlastnosti/10%20Vlastnosti_v7ma.htm [cit.25.7.2019]

Seznam použitého softwaru

1. Microsoft Windows 7 Professional
2. Microsoft Office Word 2007
3. Microsoft Office Excel 2007
4. TEXmaker, MiKTEX
5. Windows Malování
6. Adobe Reader XI