VLIV ENVIRONMENTÁLNÍCH A KONSTRUKČNÍCH PODMÍNEK NA KOROZNÍ RYCHLOST PATINUJÍCÍCH OCELÍ A TVORBU OCHRANNÉ PATINY

Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D., Ing. Dagmar Knotková, CSc.,
Ing. Alena Koukalová, SVÚOM s.r.o.
Ing. Vít Křivý, Ph.D., Ing. Lubomír Rozlívka, CSc., IOK s.r.o.
doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc., Ing. Tomáš Laník, VŠB-TU Ostrava

Úvod

Vzhledem k novému rozšíření použití patinujích ocelí pro stavbu dálničních mostů a i pro různé architektonické použití v posledních cca 5 letech a ke změnám v korozní agresivitě prostředí byly v r. 2008-2009 realizovány atmosférické zkoušky patinujících ocelí v různých typech prostředí. Výsledky byly porovnány s výsledky zkoušek realizovaných v 70. - 90. letech.

Dále bylo provedeno hodnocení více než 25 objektů z patinujících ocelí s různou dobou expozice a provozních podmínek. Bylo provedeno vizuální hodnocení stavu patiny, měřena tloušťka patiny a korozní úbytky a analyzováno složení patiny s ohledem na vliv prostředí.

Uvedené výsledky jsou součástí komplexně řešené problematiky užití patinujících ocelí pro ocelové konstrukce.

1 Atmosférické korozní zkoušky patinujících ocelí

V r. 2008 byly na 5 lokalitách v ČR exponovány vzorky patinující oceli Atmofix 52A. Základní environmentální charakteristika těchto stanic je uvedena v Tabulce 1. Srovnání výsledků ročních korozních úbytků patinující oceli s výsledky atmosférické zkoušky realizované v r. 1988 ukazují vliv snížení SO_2 znečištění ovzduší a tedy i korozní agresivity – Obrázek 1. Ke snížení ročních korozních úbytků došlo jak na volné atmosféře, tak pod přístřeškem.

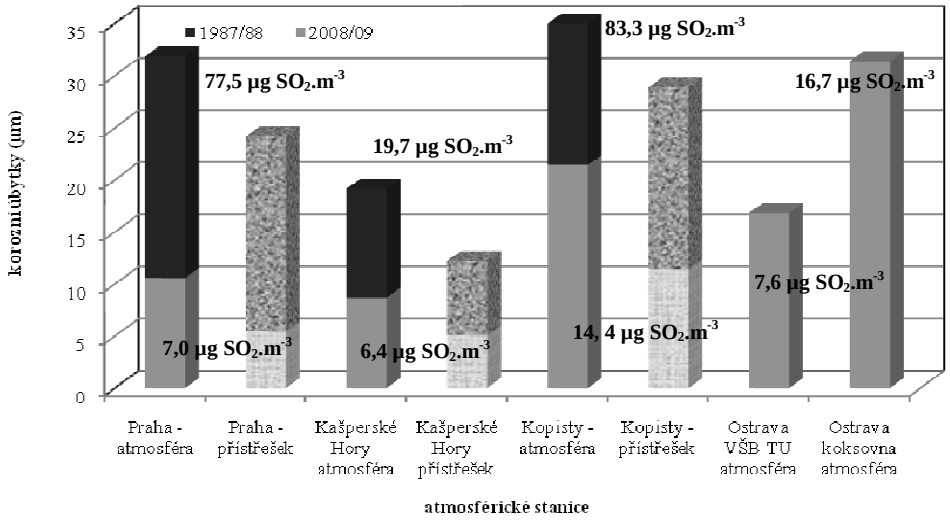
V lokalitě Ostravy, kde je atmosférické prostředí znečištěno i dalšími specifickými složkami, jsou aktuální roční korozní úbytky patinující oceli srovnatelné s korozními úbytky zjištěnými při vyšších koncentracích SO_2 v 80.tých letech. Přesto jsou i v těchto lokalitách roční korozní úbytky patinující oceli výrazně nižší než korozní úbytky uhlíkové oceli (cca 30 µm pro patinující ocel a cca 70 µm pro uhlíkovou ocel). Složení vrstev korozních produktů je velmi obdobné a tvoří je především lepidokrokit (počáteční fáze vzniku korozních produktů oceli) se stopami goethitu.

Dlouhodobá expozice realizovaná v 80.tých letech ukázala dosažení nízké korozní rychlosti po dosažení ustáleného stavu cca po 5 letech expozice. Na Obrázku 2 je tento ustálený stav po extrapolaci na 30 let expozice spolu s aktuálními ročními korozními úbytky pro různé typy prostředí v ČR.

Tabulka 1: Průměrné roční environmentální údaje pro období 2008/2009

stanice	teplota (^{0}C)	RV (%)	množství srážek (mm)	pH	SO_2 (µg.m^{-3})	NO_2 (µg.m^{-3})
Praha	10,0	68	522	6,9	7,0	33,9
Kopisty	9,4	79	504	5,4	14,4	24,1
Kašperské Hory	7,0	67	996	4,6	6,4	8,9
Ostrava VŠB-TU	9,8	80	696	-	7,6	21,3
Ostrava – koksovna	9,8	80	696	-	16,7	38,1

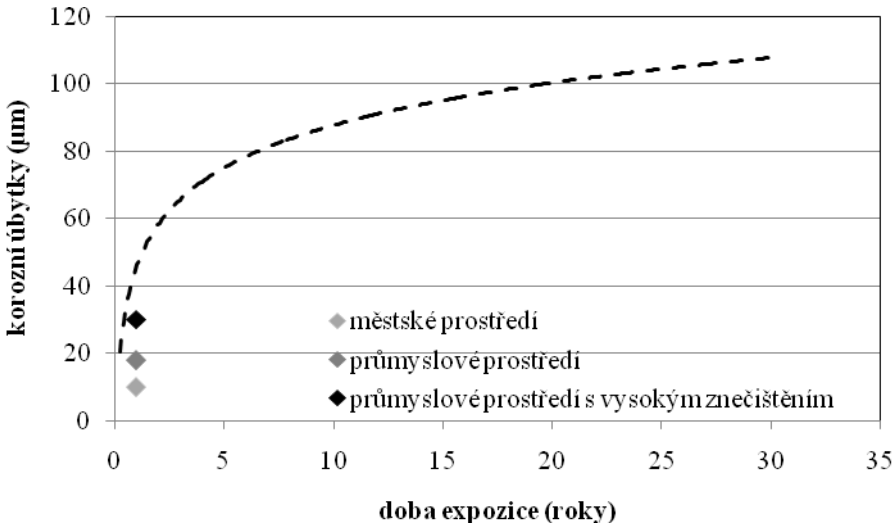
Obrázek 1: Porovnání ročních korozních úbytků patinující oceli Atmofix



2 Vlastnosti dlouhodobě vznikajících patin

U 29 vzorků patin a korozních produktů odebraných z reálně dlouhodobě exponovaných konstrukcí (> 25 let) byla kromě vizuálního hodnocení, měření tloušťky a dalších hodnocení, provedena fázová analýza, stanoveno chemické složení a vypočítán index ochranné účinnosti (PAI) – průměrné výsledky jsou uvedeny v Tabulkách 2 a 3. Průměrná tloušťka vrstvy patiny se pohybuje od 150 do 300 µm a tloušťka korozních produktů, které mají nižší ochranné vlastnosti, byla od 350 do 600 µm. Vrstvy s tloušťkou nad 800 µm jsou velmi objemné, nepřilnavé a odlupují se z povrchu konstrukce.

Obrázek 2: Průměrné dlouhodobé a aktuální korozní úbytky patinující oceli v ČR

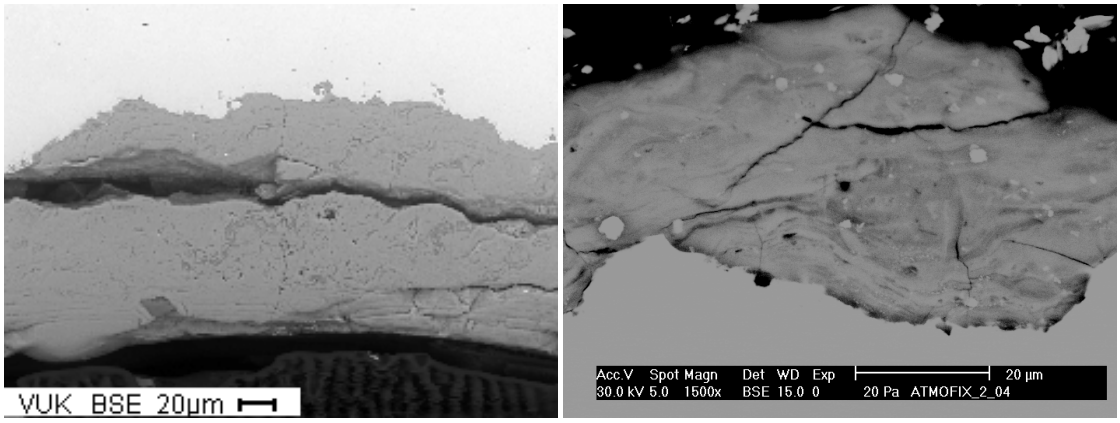


Tabulka 2 - Tloušťka patiny na dlouhodobě exponovaných konstrukcích

typ konstrukce	počet měření	průměrná tloušťka [µm]
mosty	425	141
VN stožáry	1500	175
ostatní konstrukce	235	210

Tloušťka a struktura vrstev patiny byla hodnocena i na metalografických výbrusech (Obrázek 3) spolu s jejich chemickým složením. I struktura vrstvy ochranné patiny vykazuje řadu trhlin, které jsou typické pro vrstvy korozních produktů oceli. Pro ochranné patiny je typická vrstevnatost.

Obrázek 3 – Metalografický výbrus ochranné patiny na OK po 25 letech expozice



Hlavní sloučeninou korozních produktů patinujících ocelí je goethit, který je hlavní ochrannou složkou patiny (PAI_{α} >1). Patiny ovlivněné zatékáním

jsou tvořeny především goethitem, částečně lepidokrokitem a mají stále ochranný účinek (PAI_α >1). Výrazně jiné je složení vrstevnatých korozních produktů vznikajících v místech dlouhodobé zádrže vlhkosti nebo ve spárách – hlavní sloučeninou je magnetit. Ochranný index vrstevnatých korozních produktů je nízký (PAI_α <1 a PAI_β >0,5). Neochranné korozní produkty byly zjištěny v místech konstrukce, kde se dlouhodobě kumulovaly zatékající chloridy (PAI_α <1 a PAI_β <0,5). Vrstva obsahovala goethit, magnetit i akaganeit v přibližně stejné koncentraci, slabě patrný byl i hematit.

Tabulka 3 – Průměrné vlastnosti vzorků patin z exponovaných konstrukcí

počet vzorků	převažující fázové složení	obsah Cl^- ve vzorku (%)	PAI_α	PAI_β
17	goethit, lepidokrokit	0,16	>1	-
11	goethit, lepidokrokit, magnetit	0,66	<1	>0,5
1	goethit, magnetit, akaganeit	2,83	<1	<0,5

Metalografické výbrusy (světlé plochy) i XPS analýza s RTG difrakcí ukázaly na přítomnost amorfní fáze až kolem 40 hmot. %.

Komplexní hodnocení vlastností patin je součástí řešeného výzkumného úkolu a bude podkladem pro návrh systému provozního hodnocení patin.

3 Korozní chování patinujících ocelí v provozních podmínkách

Spolehlivost každé konstrukce vystavené nepříznivému koroznímu oslabování je potřeba hodnotit individuálně. Provozní podmínky, kterým jsou patinující oceli vystaveny na řadě konstrukcí, nesplňují vždy podmínky pro vznik ochranné patiny. Hlavními specifickými vlivy provozních podmínek jsou různý stupeň omezení vlivu prostředí [3, 4], orientace ploch [5, 6] a specifické znečištění a úsady.

Na plochách konstrukcí s ochrannou patinou i s patinou ovlivněnou periodickým zatékáním nebyly ve srovnání s přípustnými válcovacími tolerancemi zjištěny měřitelné korozní úbytky. Na řadě konstrukcí byla zjištěna místa, kde došlo ve vzniku vrstevnatých korozních produktů, především v důsledku dlouhodobé zádrže srážek a vlhkosti. Nejčetnější poruchy byly identifikovány u opěr mostů z důvodu netěsných mostních závěrů a/nebo zanesení konstrukce spadem a nečistotami. V této oblasti dochází k oslabování dolních pásnic, přilehlé části stěny hlavních nosníků a krčních svarů. Korozní oslabení tlustších profilů ve srovnání se stejným oslabením tenčích profilů méně ovlivní výslednou únosnost posuzovaného prvku konstrukce - např. procentuální pokles momentové únosnosti

nosníku s pásnicemi z P30 je menší než u nosníku s pásnicemi z P15, uváží-li se stejné oslabení dolních pásnic o 2 mm.

V dané oblasti působí na konstrukci nulový nebo velmi malý ohybový moment. Korozní oslabovaní dolních pásnic tak nemá na spolehlivost konstrukce významný vliv. Takto ovlivněné plochy netvořily ani 1 % z celkové plochy konstrukce. V místě uložení mostu na ložiska působí velké posouvající síly. Namáhána je stěna hlavních nosníků na smyk. Oslabení stěny má obvykle lokální charakter v dolní část stěny do 20 cm nad dolní pásnicí, nad ložiskem je většinou příčná výztuha. Největší vliv má korozní oslabování na krční svary u dolní pásnice, které jsou nejvíce namáhány v oblasti velkých posouvajících sil – tj. v oblasti uložení nosné konstrukce na ložiska. Poškození svarů také snižuje únavovou odolnost konstrukce. U výrazně oslabených svarů je potřeba před rozhodnutím o případné rekonstrukci provést defektoskopické vyšetření.

V místech kotvení konstrukcí a stožárů, kde došlo k hromadění spadu a zádrži vlhkosti, vznikla vrstevnatá rez a zjištěné korozní úbytky dosahovaly 5 až 10 mm, což je více než 50% původní tloušťky profilu.

Zvláštní pozornost byla věnována vnitřním podmínkám v komorových mostech. V období 2008/2009 byly ve dvou mostech v Ostravě (most Svinov, 25 let a most Odra, 5 let) měřeny klimatické podmínky a exponovány vzorky patinující i konstrukční oceli (Obrázek 4).

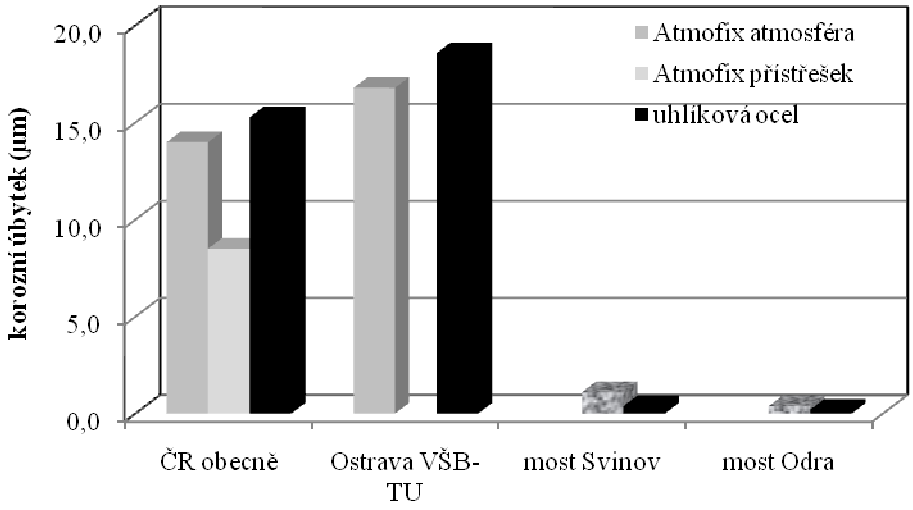
Obrázek 4 – Měření klimatických údajů a expozice vzorků v komorách

Nižší relativní vlhkost vedla k nízké korozní agresivitě vnitřních prostor komor a nízkým korozním úbytkům exponovaných kovů (Obrázek 5). Korozní agresivita vnitřních prostředí obou mostů je na stupni C1 dle ČSN ISO 9223 a na stupni IC2 pro most D 47 přes Odru a na stupni IC3 pro most Svinov dle ČSN ISO 11844-1. Na základě stanovení korozní agresivity lze predikovat korozní rychlost oceli se zvýšenou odolností ke korozi Atmofix ve vnitřních prostředích komorových mostů dle ČSN ISO

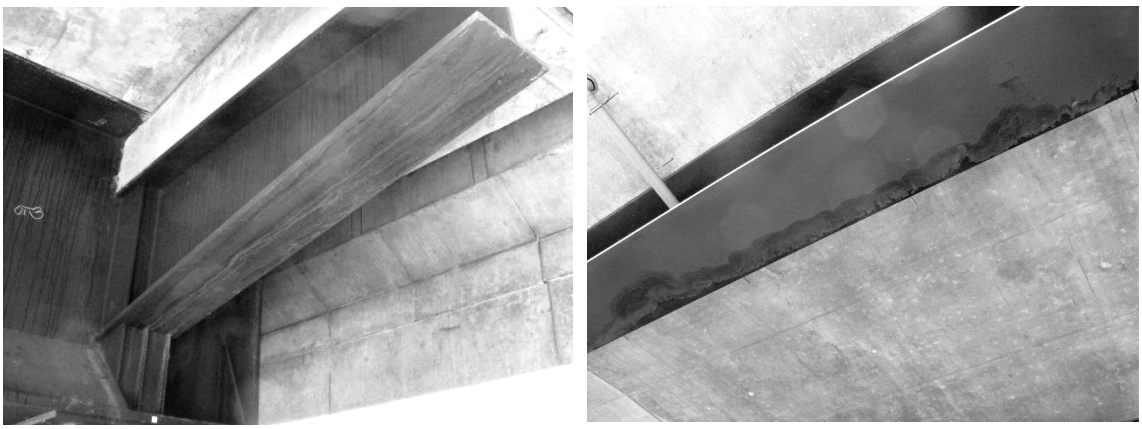
9224 0,1 µm/r v místech, kde nedochází k zatékání a/nebo zádrži zkondenzované vlhkosti na povrchu. Z hlediska dlouhodobého korozního chování patinujících ocelí ve vnitřních komorách mostů je množství a četnost průsaků do těchto prostor.

Hodnocení dlouhodobě exponovaných mostů potvrdilo, že na tvorbu ochranné patiny má zásadní vliv zatékání z mostovek nebo odvodňovacích systémů [6, 7]. Při prohlídkách mostů byly zjištěny nefunkční, zanesené nebo prokorodované odtokové potrubí a žlaby. Vliv nevhodného konstrukčního řešení nebo poškození dodatečných prvků se velmi rychle projeví na vzhledu patiny – především na její makroskopické struktuře (objemnější, méně přilnavá vrstva) – Obrázek 6.

Obrázek 5 – Porovnání ročních korozních úbytků patinující a uhlíkové oceli na volné atmosféře, pod přístřešky a v komorách mostů Svinov a Odra



Obrázek 6 – Nepříznivý vývoj patiny na konstrukcích po 2 letech expozice



V případě, že zatékající srážky obsahují chloridy z posypových solí, dochází k poruchám ochranné patiny. Ovlivněné plochy jsou ale ostře ohraničené a tvoří jen zanedbatelnou plochu konstrukcí. Vliv chloridů na korozní rychlost patinujících ocelí a poruchy patin byl stanoven řadou korozních zkoušek. Laboratorní zkoušky i atmosférické zkoušky prokázaly, že i stabilní ochranná patina vytvořená po 25 letech expozice v běžných atmosférických podmínkách bez vlivu chloridů (tloušťka vrstvy 50 µm, hlavní složka goethit, PAI ~ 6) je rychle porušena kontaminací chloridy – po 1 roce atmosférické zkoušky s postřikem posypových solí v zimním období (modifikace zkoušky podle ISO 11474) se zvýšila tloušťka vrstvy o 90 µm a ve vrstvě byl mimo goethit zjištěn i výskyt akaganeitu.

Vrstva patiny je dynamický systém, který reaguje na vnější podmínky – působení korozních i mechanických vlivů, ale na druhou stranu má i schopnost regenerace a obnovy ochranných vlastností. Z hodnocení reálných konstrukcí, kdy došlo k odstranění zatékání, je patrné, že tento proces je pomalý a trvá cca 5 let, tj. doba, která je potřebná pro vznik ochranné patiny i na nově vystavených konstrukcích [7, 8].

Závěr

Použití patinujících ocelí je ekonomickým i ekologickým řešením pro některé typy ocelových konstrukcí s dobrými předpoklady pro dlouhodobou životnost, ale tyto konstrukce stejně jako jiné vyžadují pravidelné kontroly a údržbu, především doplňujících konstrukčních prvků, které jsou často zhotoveny z jiných materiálů. Konstrukce hodnocené po 25 – 30 letech expozice v ČR vykazují některé defekty způsobené především nedostatečnou základní údržbou, ale v tom nejhorším případě může být most dále plně funkční po provedení potřebných oprav. Posouzení závažnosti a následné odstranění jednotlivých zjištěných korozních defektů na dlouhodobě exponovaných mostech z patinujících ocelí je možné pouze na základě souhrnu výsledků řady hodnocení:

- vizuální hodnocení a měření tloušťky korozních produktů,
- měření zbytkové tloušťky oceli v místech s nepříznivým vývojem patiny,
- statické posouzení vlivu zjištěných korozních úbytků na únosnost a životnost mostu,
- spolehlivé zajištění údržby a odstranění hlavních konstrukčních nebo provozních příčin, které vedou ke vzniku korozních defektů.

Provedenými hodnoceními byl stanoven významný pokles počáteční rychlosti patinující oceli v běžných podmínkách ČR, což však nevylučuje výrazné korozní efekty podmíněné konstrukčním řešením nebo

specifickým provozním znečištěním. Vztah mezi hodnotou PAI a předpokládanou korozní rychlostí není jednoduchý ani jednoznačný. Širší využití této charakteristiky vzhledem k náročné metodice stanovení nelze obecně doporučit.

Získané výsledky jsou podkladem pro upřesnění predikce dlouhodobého korozního chování patinujících ocelí na reálných objektech. Výsledky jsou též podkladem pro zkvalitnění inspekční činnosti u objektů, zejména ocelových konstrukcí z patinující oceli.

Tento příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektu MPO - FT-TA5/076.

LITERATURA

[1] J. Gulmann, D. Knotkova, V. Kucera, P. Swartling, J. Vlckova, Weathering steels in building – cases of corrosion damage and their prevention (booklet), Swedish Corrosion Institute, National Institute for Protection of Materials, Stockholm, 1985

[2] D. Knotkova, K. Kreislova, P. Boschek, J.Vlckova, Corrosion attack on weathering steel, zinc and aluminium – Evaluation after 8 years of exposure, UN ECE ICP Materials project report No 22, 1997

[3] D. Knotková, J. Vlčková, Atmospheric corrosion of bolted lap joints made of weathering steels, ASTM STP 1239 Atmospheric corrosion, W.W. Kirk, H.H. Lawson (Eds.), Philadelphia, 1995, pp. 114-136

[4] V. Kucera, P. E. Augustsson, D. Knotkova, L. Rozlivka, 2004: Experience with the use of weathering steels in constructions in Sweden and in the Czech Republic, International workshop on atmospheric corrosion and weathering steels, Sept. 2004, Cartagena de Indias (Colombia)

[5] D. Knotková, J. Vlčková, J. Honzák, Atmospheric corrosion of weathering steels, ASTM STP 767 Atmospheric corrosion of metals, S.W. Dean, E.C. Rhea (Eds.), Baltimore, 1992, pp. 7- 44

[6] K. Kreislova, D. Knotkova, V. Krivy, J. Podjuklova, The effect of diffentiated exposure conditions on corrosion behaviour of weathering steel on bridges, proceeding EUROCORR 2009, Nice, France

[7] V. Křivý, L. Rozlívka, K. Kreislová, Zkušenosti a poznatky z chování dlouhodobě exponovaných mostů z patinujících ocelí v České Republice, sborník 22. Konference Ocelové konstrukce a mosty 2009, 23. – 25. 10. 2009, Brno, ISBN 978-80-7204-635-5, str. 151

[8] D. Knotková, K. Kreislová, L. Rozlívka, V. Křivý, J. Podjuklová, hodnocení vrstev patin na konstrukcích z patinujících ocelí, sborník 22. Konference Ocelové konstrukce a mosty 2009, 23. – 25. 10. 2009, Brno, ISBN 978-80-7204-635-5, str. 133

Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D.
SVÚOM s.r.o.
U měšťanského pivovaru 934
1710 00 Praha 7
tel. 220809996
kreislova@svuom.cz