

**UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2012

Bc. Jiří ZEMEK DiS.

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

**ANALÝZA PŘÍČINY KOROZE BLOKŮ
MOTORU V MÍSTECH STYKU
S CHLADÍČÍ KAPALINOU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Bc. Jiří Zemek DiS.
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Pavel Švanda Ph.D.

2012

UNIVERSITY OF PARDUBICE
JAN PERNER TRANSPORT FACULTY
DEPARTMENT OF TRANSPORT MEANS

**ANALYSIS OF THE CAUSES OF
CORROSION BLOCK ENGINE AT THE
AREA OF CONTACT WITH COOLANT
FLUID**

GRADUATION THESIS

AUTHOR: Bc. Jiří Zemek DiS.
SUPERVISOR: Ing. Pavel Švanda Ph.D.

2012

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Zemek**
Osobní číslo: **D11901**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Analýza příčiny koroze bloku motoru v místech styku s chladicí kapalinou**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Základní informace o chladicí soustavě
3. Základní informace o vlastnostech nemrznoucích chladících kapalin
4. Příčiny koroze bloku motoru
5. Přehled poruch motorových vozidel vyvolané korozí bloku motoru
6. Seznámení s konkrétním problémem a návrh řešení pro jeho odstranění
7. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

BARTONÍČEK, R. a kol. Koroze a protikorozi ochrana kovů. Praha: Academia, 1966.

Kreibich, V. Hoch K.: Koroze a technologie povrchových úprav. Praha: ČVUT, 1991

Kraus, V.: Povrchy a jejich úpravy, Plzeň: ZČU, 2000

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavel Švanda, Ph.D.

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

23. května 2012



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Místopřísežné prohlášení studenta:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pouze s pomocí použité literatury a pod vedením vedoucího této práce.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Z hlediska že zadavatelem této práce je Iveco Česká republika a byla sepsána dohoda o důvěrnosti této práce, tak nesouhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 2.5.2012

Bc. Jiří Zemek DiS.

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval za cenné připomínky a rady mému vedoucímu práce panu Ing. Pavlu Švandovi Ph.D. a dále podniku Iveco Česká republika v zastoupení panem Ing. Markem Ledajaksem za poskytnutí materiálů a dat pro zhotovení této diplomové práce. Tímto Vám všem děkuji.

Souhrn:

Cílem práce je vytvořit analýzu příčin koroze bloků motoru v místech styku s chladicí kapalinou, jejíž výsledkem bude návrh systému nebo postupů k zamezení vzniku koroze v kritických místech chladicího okruhu. V úvodní části budete seznámeni s konstrukcí chladicí soustavy a jejími prvky včetně nemrznoucí kapaliny. Dále budou zhodnoceny teoretické příčiny koroze kovů, které přichází do kontaktu s koncentrátem vody a nemrznoucí chladicí kapaliny. V neposlední části je pojednáno o přehledu typických poruch vyvolaných korozí bloku motoru, na kterou je navázáno seznámením s konkrétním problémem vyskytujícím se v provozu a zjištěním možné příčiny tohoto důsledku. V poslední části budou navrženy opatření, které by mohli snížit popřípadě zabránit vzniku tohoto konkrétního problému.

Klíčová slova:

Koroze bloku motoru; Příčiny koroze; Důsledky koroze; Poruchy; Metody pro odstranění příčin koroze

Abstract:

The target of this thesis is creating of analysis of corrosion cause for engines in contact area with coolant, which result will be proposal of system or procedure for corrosion reduction in critical areas inside coolant circuit. In the beginning of thesis I will introduce construction of cooling system with main parts including of engine coolant. In next step I will valorize theoretical causes of metal corosion, which is in contact with coolant concentrate from water and engine antifreeze fluid. In the last but not least step thesis deal with summary of tipical faults which was happened by engine block corosion, after that we will continue with introducing about specific problem which is occur in traffic and detection cause of these results. In the last I will propose pracautions, which would to decrease or prevent creation of this specific problem.

Keywords:

Corrosion of engine block; Corrosion root causes; Corrosion consequence; Faults; Methods for canceling corrosion root causes

Obsah:

1. ÚVOD	- 10 -
2. ZÁKLADNÍ INFORMACE O CHLADÍCI SOUSTAVĚ	- 11 -
2.1. POPIS FUNKCE CHLADÍCI SOUSTAVY VOZIDLA	- 11 -
2.2. MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ CHLADÍCI SOUSTAVY VOZIDLA	- 12 -
3. ZÁKLADNÍ INFORMACE O VLASTNOSTECH NEMRZNOUCÍCH CHLADICÍCH KAPALIN	- 13 -
3.1. NEMRZNOUCÍ KAPALINY PRO SILNIČNÍ VOZIDLA	- 13 -
3.2. VZHLED A SLOŽENÍ	- 14 -
3.3. ROZSAH POUŽITÍ	- 15 -
4. PŘÍČINY KOROZE BLOKU MOTORU	- 15 -
4.1. DRUHY KOROZE	- 16 -
4.2. PŘÍČINY VZNIKU KOROZE	- 21 -
5. PŘEHLED PORUCH MOTOROVÝCH VOZIDEL VYVOLANÉ CHLADÍCI KAPALINOU A KOROZÍ BLOKU MOTORU	- 27 -
5.1. PORUCHY V BLOKU MOTORU	- 27 -
5.2. PORUCHY CHLADIČE SOUSTAVY	- 28 -
5.3. PORUCHY POTRUBÍ MEZI KOMPONENTY	- 28 -
5.4. PORUCHY VÝMĚNÍKŮ TEPLA	- 30 -
5.5. PORUCHY VODNÍHO ČERPADLA – NETĚSNOST	- 31 -
6. SEZNÁMENÍ S KONKRÉTNÍM PROBLÉMEM A NÁVRH ŘEŠENÍ PRO JEHO ODSTRANĚNÍ	- 32 -
6.1. OBECNÁ KOROZNÍ CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU BLOKU MOTORU	- 32 -
6.2. NEČISTOTY V CHLADÍCÍM OKRUHU	- 36 -
6.3. ROZBORY VZORKŮ NEČISTOT V CHLADICÍCH KAPALINÁCH	- 39 -
6.4. DOPORUČENÍ ÚDRŽBY CHLADÍCI KAPALINY	- 44 -
7. ZÁVĚR	- 48 -
SEZNAM OBRÁZKŮ A VLOŽENÝCH OBJEKTŮ	- 49 -
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 51 -

1. Úvod

Narůstající požadavky na přepravu osob a zboží, zvyšují také nároky na výrobní kapacitu dopravních prostředků a jejich proces výroby. Významným jakostním parametrem tohoto procesu je především bezpečnost dopravy, která je ovlivněna celou řadou druhotných činitelů, např. stavem dopravní cesty, organizací provozu, lidským faktorem a je podmíněna i spolehlivostí dopravních prostředků. Na požadavek spolehlivosti dopravních prostředků reagovali výrobci i provozovatelé zaváděním systémů údržby, které mají za cíl zajistit bezchybný technický stav vozidel po celou dobu jejich technického života. Od padesátých let se začínají používat pro hodnocení spolehlivosti také statistické metody, které vytvářejí nový vědní obor teorie obnovy. Výrobci vozidel reagují na rozvoj teorie obnovy i dalších vědních oborů vznikem filozofie nákladů životního cyklu vozidel. Pokrokovost této filozofie vychází zejména ze systémů sledování poruchovosti, vyhodnocování spolehlivosti a zavádění systémů technické diagnostiky. Tento trend vytváří zvyšování požadavků na vozidlo a jeho užité vlastnosti již ve fázi předvýrobních či prvonákupních etap, např. dopravní podniky při nákupu nových vozidel požadují odhad hodnocení nákladů životního cyklu. Náklady spojené s pořízením nového vozidla tvoří začátek životního cyklu, v další etapě v průběhu provozování vozidla se objevují náklady spojené s provozem a obnovou vozidla. Systém údržby, jako součást procesu obnovy vozidla, významně přispívá k celkovému hodnocení jakosti vozidla a ovlivňuje jeho konkurenceschopnost.

Koroze jednotlivých částí vozidla značně ovlivňuje jeho životní cyklus. Závažnost druhu výskytu koroze na vozidla je ve většině případů nežádoucí, ať se jedná už o korozi na vnější části vozidla, která tak znehodnocuje vzhled, ale tak i o vnitřní korozi, která není viditelná, avšak problémy s ní spojené jsou závažnější a mohou způsobit až ztrátu provozuschopnosti vozidla. V této práci se budu zabývat korozi vnitřní, která je hůře prokazatelná bez demontáže konkrétních prvků, ale přesto je její přítomnost možné odhalit. V praxi je samotné odhalení možné pouze několika způsoby. Buď optickým rozlišením napadeného povrchu od původního stavu, nebo chemickým rozborem zkorodovaného materiálu či kapaliny, která přišla s napadeným materiálem do styku. Má práce se bude zabývat konkrétním příkladem této možnosti a zároveň názorným příkladem pro vnitřní korozi vozidla, jímž je blok spalovacího motoru, který přichází do styku s chladicí kapalinou.

2. Základní informace o chladicí soustavě

V provozu vozidel se často vyskytují závady způsobené korozí v různých podobách, které je mnohdy velmi problematické opravovat a jednoduchými postupy bojovat proti jejich vzniku. Problematika koroze materiálů použitých v konstrukci motoru je samostatnou významnou kapitolou v této oblasti. Specifičnost problematiky koroze motoru vyplývá z množství různorodých, nejen kovových, materiálů použitých v konstrukci samotného motoru ale také bohatého příslušenství, kterým je motor vozidla vybaven.

2.1. Popis funkce chladicí soustavy vozidla

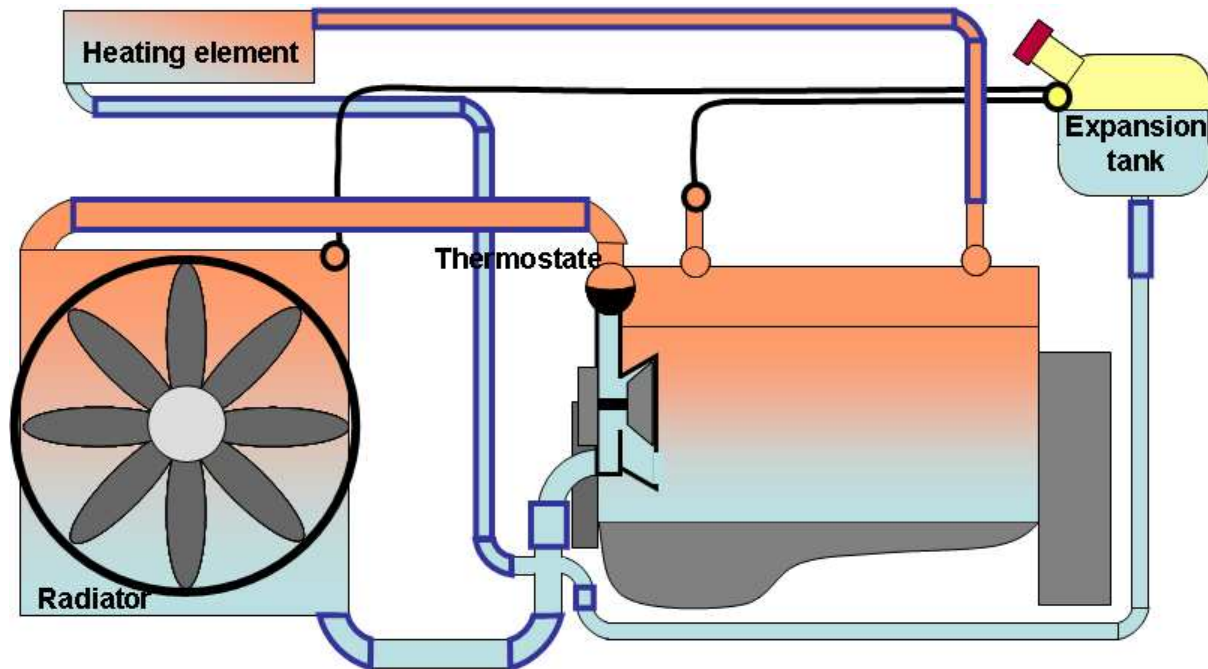
Okruh chlazení a topení se shodně vyskytuje ve většině motorových vozidel. Skládá se z okruhu chlazení motoru, na který je napojeno chlazení dílčích komponentů a okruhu topení.

Chladicí systém se skládá z chladiče, čerpadla chladicí kapaliny, termostatu a elektricky nebo hydraulicky poháněného ventilátoru. Oběh chladicí kapaliny je řízen termostaticky. Dokud je motor studený, cirkuluje chladicí kapalina jen v bloku motoru a ve výměníku tepla pro topení. S rostoucí teplotou motoru se otevírá termostat a chladicí kapalina začíná proudit skrz chladič. Chladicí kapalina je tlačena čerpadlem, které je poháněno klínovým či ozubeným řemenem, nebo také ozubenými koly od točivého momentu klikového hřídele. Chladicí kapalina protéká chladičem, vyrobeným nejčastěji z hliníku a je chlazen náparem vzduchu, proudícím žebry chladiče. Má-li chladicí kapalina příliš vysokou teplotu, zapíná se ventilátor, který obstarává přídatné chlazení. Když překročí teplota chladicí kapaliny $+100^{\circ}\text{C}$, zapne u motoru termosplínač nebo řídící jednotka pohon ventilátoru. Po poklesu teploty chladicí kapaliny se ventilátor vypne.

Vyrovňovací nádržka slouží jako zásobník chladicí kapaliny. Zachycuje kapalinu, která s rostoucí teplotou zvětšuje svůj objem a při ochlazování vrací zpět do chladicího okruhu. Tím pádem je chladicí okruh stále naplněn. Chladicí kapalinu doplňujeme jen do vyrovnávací nádržky. Schema chladicí soustavy je na obr. 1.

2.2. Materiálové složení chladicí soustavy vozidla

Chladicí soustava vozidla se skládá ze čtyř základních částí, které tvoří chladicí okruh. Hlavní část je blok motoru. Ten je u větších vozidel vyroben z šedé litiny a u menších vozidel z hliníko-hořčíkových slitin. Všechny tyto typy materiálů jsou náchylné ke korozi. Z větší části je blok napadán ze strany od chladicí kapaliny a z menší části z atmosférické strany. Další částí soustavy je chladič chladicí kapaliny. V této době nejčastějším materiálem pro tyto chladiče je hliníková slitina, která má výborné vlastnosti a dobře odolává častým změnám teplot. Chladič je tvořen systémem potrubí a hliníkových lamel, které zvětšují plochu pro lepší odvod tepla. Třetí částí chladicí soustavy, je potrubí mezi jednotlivými dílčími komponenty, které jsou vyrobeny z mnoha materiálů. Vyskytují se zde pryžové hadice, nerezové přechodky mezi hadicemi a komponenty, mosazné trubky, ale také mnoho těsnění, se kterými přijde chladicí kapalina do styku. V poslední řadě obsahuje chladicí soustava výměníky tepla pro vytápění interiéru vozu, ale i pro ohřev či chlazení jiných provozních kapalin vozidla.



Obrázek 1 – Schéma okruhu chlazení [5]

Tabulka 1 – Složení chladicí soustavy autobusu [2]

Příslušenství motoru	Materiál ve styku s chladícím médiem	Pracovní teplota příslušenství motoru	Poznámka
Chladič motoru	Al slitina	do 106°C	Část chladiče se skládá z plastu
Blok motoru	Šedá litina	do 130°C	Na bloku motoru je přichyceno více materiálů
Potrubí rozvodu chladicí kapaliny	Mosaz + Nerez	do 106°C	Většina potrubí se skládá z mosazi
Výměník automatické převodovky	Al slitina	do 106°C	Výměník je pouze s Al slitiny
Radiátory topení	Al slitina	do 106°C	Část chladiče se skládá z plastu

3. Základní informace o vlastnostech nemrznoucích chladicích kapalin

Termínem nemrznoucí kapalina se označuje kapalná látka používaná pro chlazení spalovacích motorů a různých dalších aplikací s přenosem tepla, například chladicí zařízení nebo solární ohřivače vody. Účelem nemrznoucí kapaliny je ochránit tuhé uzavřené zařízení před účinky fyzikální zátěže a případnou ničující deformací následkem expanze, která nastává při tuhnutí vody v led. Většina nemrznoucích kapalin jsou chemické sloučeniny, které se přidávají do vody s cílem snížit bod tuhnutí směsi pod nejnižší teplotu, které je pravděpodobné, že bude systém vystaven. Jako o nemrznoucí kapalině lze hovořit jak o přidávané látce, tak o výsledné směsi (označované také jako nemrznoucí směs), což dovoluje srovnávání mezi nesmíšenou nemrznoucí kapalinou a předem namíchanou kapalinou v běžných prodejních baleních. Látky používané jako nemrznoucí kapalinu nemusí při smíšení s vodou jen snižovat bod tuhnutí, ale také zvyšovat bod varu.

3.1. Nemrznoucí kapaliny pro silniční vozidla

V automobilovém průmyslu se používá termín chladicí kapalina, který označuje primární funkci kapaliny při přenosu tepla. Nemrznoucí kapaliny byly vyvinuty, aby odstranily negativní vlastnosti vody použité jako chladicí kapaliny. Ve většině motorů je v bloku umístěna mrazová zátka, které má za úkol chránit motor v

situaci, kdy je v chladicím systému obyčejná voda nebo pokud okolní teplota klesne pod bod tuhnutí nemrznoucí kapaliny. Pokud se chladicí kapalina přehřeje, může se začít v motoru vařit a vznikající bubliny páry mohou způsobit vážné poškození motoru. Problému pomůže zabránit tlakový chladicí systém a používání správné chladicí kapaliny. Některé nemrznoucí kapaliny mohou bránit zamrznutí až do -87 °C. Moderní netoxické chladicí kapaliny jsou určeny pro chladicí systém litinových a celohliníkových motorů. Tyto kapaliny obsahují vysoce účinné inhibitory koroze na bázi anorganických i organických solí, které celoročně chrání chladicí systém před korozí. Jeho výměnná lhůta je stanovena po ujetí 200 000 km nebo po 5-ti letech provozu, ve vysoce přeplňovaných dieslových motorech pouze po dvou letech. [8]

3.2. Vzhled a složení

Nemrznoucí chladicí kapaliny jsou čiré růžové, zelené, modré atd. bez zápachu, volně mísitelné s vodou v každém poměru. Jsou to nejčastěji roztoky propandiolu (monopropylenglykol = MPG) s inhibitory koroze. Neobsahují fosfáty, aminy ani dusitany. Jsou biologicky odbouratelné.

3.2.1. Ethylenglykol

Roztoky ethylenglykolu jsou k dispozici od roku 1926 a prodávaly se jako „stálé nemrznoucí kapaliny“, protože vyšší bod varu poskytuje výhodu i v letním období. V mnoha aplikacích, včetně automobilů, se stále používají, občas však dochází k intoxikacím způsobeným požitím ethylenglykolu. [2]

3.2.2. Propylenglykol

Propylenglykol je podstatně méně toxický než ethylenglykol a může být označován jako „netoxická nemrznoucí kapalina“. Používá se kromě jiného tam, kde je použití ethylenglykolu nevhodné, například v potravinářských strojích nebo v domácnostech. V USA je propylenglykol „všeobecně považován za bezpečný“ pro použití v potravinách. Ovšem nemrznoucí kapaliny založené na propylenglykolu nelze považovat za bezpečné ke konzumaci. Při náhodném požití je třeba ihned kontaktovat lékaře. Propylenglykol na vzduchu a teple oxiduje. Vzniká při tom

kyselina mléčná. Pokud se tento proces dostatečně neinhibuje, může se kapalina stát korozivní. Pro ochranu se používá například protodin. [2]

3.2.3. Methanol

Methanol je sloučenina se vzorcem CH_3OH . Je to nejjednodušší alkohol, jedná se o lehkou, těkavou, bezbarvou, hořlavou a jedovatou kapalinu s charakteristickým zápachem, který je poněkud slabší a sladší než u ethanolu. Při pokojové teplotě se chová jako polární rozpouštědlo. Používá se jako nemrznoucí kapalina, rozpouštědlo, palivo a k denaturaci ethanolu. Není příliš oblíbený pro použití v průmyslu, nicméně je obsažen například v některých kapalinách do ostřikovačů, odmrazovačích a aditivech do benzínu. [2]

3.3. Rozsah použití

Nemrznoucí kapaliny se používají ředěné s destilovanou vodou nebo kvalitní pitnou vodou na požadovaný bod tuhnutí. Většina nemrznoucích kapalin se mísí v těchto poměrech : voda = bod tuhnutí ve $^{\circ}\text{C}$: 1 : 2 = -15°C 1 : 1,5 = -21°C 1 : 1 = -33°C . [8]

4. Příčiny koroze bloku motoru

Na blok motoru jsou kladeny požadavky jak na pevnost, tak na teplotní odolnost. Jejich kombinací tím pádem na pevnost za zvýšené teploty. Dalším nezanedbatelným požadavkem je odolnost proti korozi a to jak vnitřní tak vnější. Vnější koroze je působení vlivu prostředí na vnější plášť bloku motoru, proti tomu vnitřní korozi je myšlen účinek výfukových plynů a především chladící kapaliny. Co se teplot týče, uvažujme čistě blok motoru, kde se dá jako limitní považovat teplota v okolí hlavy vložky válce. Zřídka přesahuje 300°C a to i u velmi výkonných motorů, za standard se dá považovat cca 250°C . Cílová slitina tedy při teplotě 250°C stále musí vykazovat dostatečné pevnostní vlastnosti. [2]

4.1. Druhy koroze

Přestože to není zřejmé na první pohled, jdou korozní vlastnosti ruku v ruce s odolností slitiny bloku motoru vůči vysokým teplotám, jelikož ani bez jedné vlastnosti se slitina vhodná pro blok motoru neobejde. Korozní odolnost slitin pro aplikace ve výrobě motorů má tedy zásadní význam, a přestože korozní chování hliníko-hořčíkových slitin bylo již rozsáhle studováno, specifika koroze u motorových bloků nebyla systematicky řešena. Jsou dva možné pohledy na korozi bloku motoru, koroze vnitřní a koroze vnější. Vnější korozní chování znamená reakci slitiny na obecné vnější prostředí a zahrnuje vliv působení vlhkosti, soli, prachu a galvanický korozní účinek při styku s jinými kovovými materiály. Vnitřní koroze se pak popisuje výhradně jako chování slitiny při působení chladicí kapaliny v chladicím okruhu motoru.

4.1.1. Druhy koroze rozděleny dle výskytu

Vnější podmínky, s nimiž se setkává motor během své životnosti, jsou velmi různorodé a úroveň expozice, a interakce mezi těmito korozivními prostředími nelze snadno předvídat. Mezi tyto podmínky vnějšího prostředí je nutné zahrnout i nepravidelné teplotní cykly spojené s běžným provozem motoru. Za provozu je díky teplotě motoru jeho povrch povětšinou suchý a tím pádem nečistoty bez vhodného elektrolytu nijak výrazně nepůsobí. Nicméně když se motor ochladí, dojde ke kondenzaci vlhkosti z ovzduší, a ta se poté usazuje na povrchu motoru buď jako celistvá vodní vrstva nebo se koncentruje jako kapičky a proniká do všech povrchových rýh nebo dutin. V obou případech tímto dojde ke vzniku elektrolytu a ke korozi může a bude docházet v těch oblastech, které byly dříve vystaveny solím nebo jiným nečistotám. Tato koroze se označuje jako volná koroze. Přítomnost vhodného elektrolytu může také způsobit galvanické reakce na kontaktních místech s jinými kovovými materiály, jako například při kontaktu s hlavou šroubu a s podložkami.

Vnitřní korozní prostředí pro blok motoru je relativně jednoduché ve srovnání s vnějším prostředím. Tři hlavní proměnné jsou složení chladicí kapaliny, teplota a průtokové podmínky. Nicméně, v chladicím systému se objevuje jak koroze volná, tak galvanická. Chladicí kapalina se totiž může chovat jako elektrolyt spojující různé kovy do korozního galvanického obvodu. Základní složkou nejpoužívanějších chladicích kapalin je etylenglykol. Bylo zjištěno, že etylenglykol by ve správném poměru neměl reagovat s litinovým blokem, pak tedy voda přítomná v roztoku etylenglykolu by způsobovat na litině korozi mohla. Běžně prodávané chladicí kapaliny jsou směsí etylenglykolu ve vodě v kombinaci s různými inhibitory koroze a pasivačními agenty. Tyto přísady jsou specifické pro materiály používané na blok motoru, a proto chladicí kapaliny vyvinuté pro motory z litiny nemusejí být vhodné pro každý z typů materiálu. Standardizovaný test ASTM D1384 [9] popisuje standardní zkušební metody navržené tak, aby simulovaly agresivní prostředí v chladicím okruhu motoru, kombinující účinky volné a galvanické koroze. Může být použit k porovnání účinků různých složení chladicích kapalin, přičemž bere v úvahu různé kovy obsažené v chladicím okruhu a provozní teploty vyskytující se zde.

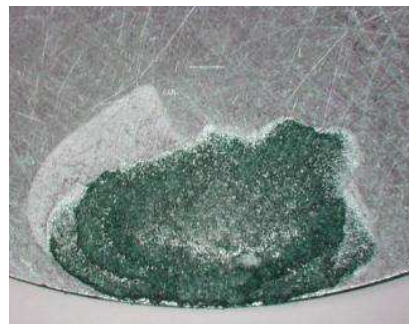
4.1.2. Druhy koroze rozděleny dle typu

Korozní poškození představuje obsáhlou skupinu poruch, vzniklých působením prostředí, především na povrch kovů. Podle rozsahu poškození rozeznáváme, tzv. korozi celkovou (plošnou), která probíhá po celém povrchu vystaveném koroznímu prostředí víceméně rovnoměrně a korozi nerovnoměrnou - místní (lokalizovanou), která probíhá výrazně intenzivněji pouze v některých částech exponovaného povrchu kovu, zatímco na ostatním povrchu je koroze přijatelná. Rozdělení druhů koroze může mít různá hlediska, v této části textu je použito dělení především podle mechanismu vzniku koroze. Za účelné pokládáme rozdělení na korozi štěrbinovou a bodovou, korozi mezikrystalovou a selektivní, na praskání vyvolané prostředím, erozní korozi a poškození vyvolané vodíkem. Nerovnoměrné formy koroze jsou většinou důsledkem poruchy pasivity kovu a s výjimkou poškození kovu vyvolaného vodíkem je hlavní poškozovací mechanismus anodické rozpouštění.

Plošná koroze (Obrázek 2, str.18) probíhá na celém povrchu kovu exponovaného v prostředí přibližně stejnou rychlostí. K rovnoměrné plošné korozi dochází zvláště tehdy, pokud je celý povrch kovu v pasivním stavu. Při plošné korozi v aktivním stavu se uplatňují mikročlánky, a pokud se lokalizace anodických a katodických míst (distribuovaných po povrchu rovnoměrně) průběžně mění, lokální napadení v mikroskopickém měřítku vede také k víceméně rovnoměrným úbytkům na povrchu kovu. [1]



Obrázek 2 – Plošná koroze [6]



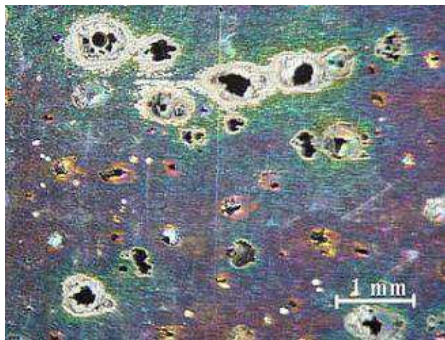
Obrázek 3 – Štěrbínová koroze [6]

V úzkých štěrbinách nebo mezerách mezi kovovým povrchem a dalším povrchem (kovovým nebo nekovovým), vzniká často lokalizovaná koroze. Obvykle je jeden rozměr ústí štěrbiny velmi malý (pod $10\mu\text{m}$ – Obrázek 3, str.18). Takový rozměr dovoluje, aby elektrolyt uvnitř štěrbiny iontově komunikoval s objemem elektrolytu vně štěrbiny, ale rozměry brání promíchávání (konvekci) a omezují difúzi. Podstatným znakem také je, že poměr objemu elektrolytu k povrchu kovu uvnitř štěrbiny je velmi malý, vně štěrbiny velmi velký. K takové situaci dochází v případě konstrukčních štěrbin, v závitových spojích, v pórech svarů, u lemových a nýtovaných spojů, pod těsníci plochami u spojů a ucpávek, pod úsadami, pod korozními produkty, nebo pod povlaky, které ztratily adhezi ke kovu.

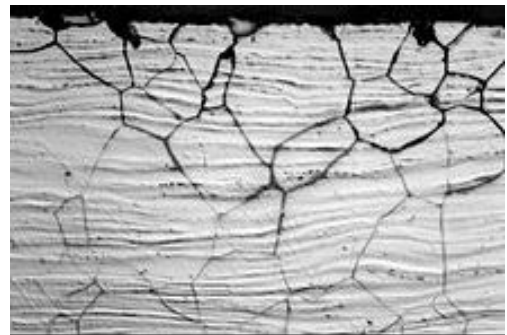
Štěrbínový efekt se také projevuje v trhlinách a dalších necelistvostech kovu, které ústí na povrchu, tento efekt provází celou řadu dalších druhů koroze, jako je korozní praskání, korozní únava, mezikrystalová a bodová koroze. Ochrana před štěrbinovou korozi spočívá především v konstrukčních úpravách, které zabraňují vzniku štěrbin, nespojitých svarů, omezují spoje, které vytvářejí štěrbinu, omezují vznik úsad. Štěrbínová koroze se dá potlačit také vyloučením styku kovového povrchu s nasákavými těsníci materiály a s materiály uvolňujícími agresivní složky. Při kontaktu kovových povrchů dojde ke vzniku štěrbin často již jen v důsledku jejich

drsnosti. Samozřejmě lze problém štěrbinové koroze řešit výběrem vhodného, korozně odolnějšího materiálu, nebo úpravou prostředí. [1]

Bodová koroze (Obrázek 4, str.19) je lokalizovaný korozní děj, při kterém vznikají na kovovém povrchu hluboké důlky, a okolní povrch zůstává bez pozorovatelného napadení. Tento druh napadení vzniká na celé řadě pasivovatelných kovů. Typický je nejen pro korozivzdorné oceli, ale i pro hliník a měď. Mechanismus iniciace bodové koroze spočívá v napadení kovu v místech se slabšími ochrannými vlastnostmi pasivní vrstvy. Vznik a šíření bodové koroze jsou usnadněny nejen zvýšenou koncentrací agresivního iontu (velmi nebezpečné jsou v tomto případě chloridy), ale i přítomností oxidujících látek, zvýšenou teplotou a nízkou hodnotou pH. Ochrana před bodovou korozi spočívá hlavně ve výběru odolného kovového materiálu. Zvýšené odolnosti korozivzdorných ocelí lze především dosáhnout legováním molybdenem. Ke vzniku bodové koroze přispívá také hrubě obrobený povrch, přítomnost okují a vměstků MnS ve struktuře oceli. K potlačení napomáhá i pohyb prostředí a snížená teplota. [1]



Obrázek 4 – Bodová koroze [6]

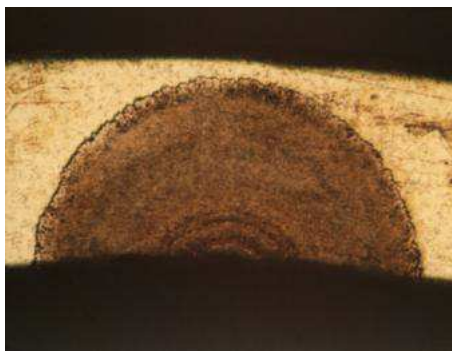


Obrázek 5 – Mezikrytalová koroze [6]

Mezikrytalová koroze (Obrázek 5, str.19) je nejvýznamnější příklad vlivu strukturních změn kovu na jeho korozní odolnost. Příčinou mezikrytalové koroze je strukturní a chemická nehomogenita kovu na hranicích zrn, která se projevuje nejčastěji u korozivzdorných ocelí a vzniká hlavně při svařování. V blízkosti svarů dochází na hranicích zrn v důsledku tvorby karbidů bohatých na chrom ke vzniku oblastí ochuzených o volný chrom. Kovový materiál korodující mezikrytalově, ztrácí mechanickou pevnost, aniž by došlo k pozorovatelné vzhledové změně. Je to dáno tím, že za určitých podmínek přednostně koroduje jen v úzkém pásmu na ochuzené hranici zrn. Mezikrytalová koroze probíhá nejrychleji za podmínek, kdy ochuzená část kovu koroduje v aktivním stavu, zatímco ostatní povrch je pasivní. Proti vzniku

mezikrystalové koroze korozivzdorných ocelí je možná také ochrana tzv. stabilizací. Stabilizační legura se přidává v závislosti na obsahu uhlíku, minimálně čtyřnásobné množství titanu k uhlíku. [1]

Při selektivní korozi (Obrázek 6, str.20) dochází korozními procesy k odstranění jedné složky slitiny. Typickým představitelem tohoto druhu koroze je odzinkování mosazí, kdy část původního materiálu slitiny mědi a zinku se přemění na houbovitou měď. Dochází k tomu buď v celé vrstvě u povrchu, nebo lokálně. Houbovitá měď nemá žádnou pevnost a postupně dojde k perforaci stěny. Odzinkování také hraje roli při vzniku korozního praskání mosazí. K odzinkování jsou náchylné všechny mosazi s obsahem Zn větším než 15 %. Mechanismus odzinkování spočívá v tom, že se měď a zinek rozpustí a následně se měď opět vyloučí. K tzv. spongioze šedé litiny dochází ve vodách i v půdě pod objemnou vrstvou rzi. Lupínkový grafit je ve struktuře šedé litiny spojitý a tvoří velmi ušlechtilou fázi proti železu, což v některých podmínkách vede k činnosti galvanického článku a selektivní korozi železné matrice. Původní litina se stane nekovovým materiálem, ve kterém je železo zcela přeměněno na korozní produkty a nemá prakticky žádnou pevnost. Ochrana šedé litiny před spongiózou spočívá v náhradě materiálu, např. používat typy litin s jiným typem vyloučeného grafitu, které nejsou tolik náchylné ke korozi. [1]



Obrázek 6 – Selektivní koroze [6]



Obrázek 7 – Erozní koroze [6]

Z různých druhů čistě mechanického opotřebení má v kombinaci s korozními účinky prostředí největší význam erozní koroze (Obrázek 7, str 20). Při styku rychle proudící kapaliny nebo plynu může docházet k čistě mechanickému poškozování kovového materiálu. Poškození se dále zvýší, pokud proudící médium bude obsahovat částice, v plynu pevné nebo kapalně, v kapalině pevné nebo plynové. V

elektrolyticky vodivém prostředí dochází ke zvýšení koroze kovových materiálů i za podmínek, kdy intenzita vlastního mechanického poškozování je velmi malá. Je to dáno tím, že většina kovů vděčí za svoji korozní odolnost pasivitě, tedy existenci povrchové vrstvy korozních produktů, která potlačuje anodické rozpouštění. V souvislosti s erozí korozí je uváděna vibrační koroze. Dochází k ní v atmosférických podmínkách na povrchu kovu v místě styku kovových součástí, které se po sobě vzájemně pohybují s velmi malou amplitudou. K tomuto druhu koroze dochází i za podmínek nízké relativní vlhkosti atmosféry, kdy je korozní vliv atmosféry zanedbatelný. Opakované odstraňování velmi tenké oxidové vrstvy vede i k opakované reakci čistého povrchu kovu s kyslíkem a následným úbytkům materiálu, který je přeměněn na korozní produkty. [1]

4.2. Příčiny vzniku koroze

Koroze je narušování materiálu vzájemným chemickým nebo elektrochemickým působením. Může probíhat v atmosféře nebo jiných plynech, ve vodě a jiných kapalinách, zeminách a různých chemických látkách, které jsou s materiálem ve styku. Toto rozrušování se může projevat rozdílně. Od změny vzhledu až po úplný rozpad celistvosti.

Koroze ve vodách probíhá, obdobně jako koroze atmosférická, elektrochemickými korozními reakcemi – anodickou a katodickou. Na rozdíl od koroze atmosférické, probíhající za přítomnosti nepatrné vrstvy elektrolytu převážně neutrálního charakteru, je při průběhu koroze ve vodě přítomno vždy dostatečné množství elektrolytu, jehož charakter může být jak neutrální, tak kyselý nebo zásaditý. Rozdíl je také ve znečištění korozního prostředí. Vody jsou obvykle znečištěny zcela jinými chemickými sloučeninami než atmosféra. Rozhodujícím tedy faktorem koroze ve vodách je přítomnost rozpuštěného kyslíku ve vodě. Jeho vliv se projevuje nejvíce ve studené a teplé měkké vodě s hodnotou pH 6 až 7, tedy s neutrální nebo slabě kyselou reakcí. Koroze urychlená vlivem rozpuštěného kyslíku je charakterizována zdrsňeným kovovým povrchem, viditelným pod odstranění korozních zplodin.

Koroze v provzdušněné vodě vzrůstá s čistotou vody a nejvyšších hodnot dosahuje ve vodě destilované, tj. ve vodě zbavené solí. Odstraníme-li z destilované vody kyslík, je koroze v takto upravené čisté vodě nepatrná. V některých případech naopak přítomnost kyslíku ve vodě korozní rychlost zpomaluje. Tento jev se projevuje u kovů schopných pasivace (korozivzdorné oceli, hliník,...), protože kyslík podporuje vznik pasivní vrstvy. Při použití nemrznoucích směsí na bázi etylenglykolu způsobuje přítomnost kyslíku oxidaci etylenglykolu na kyselinu octovou, která za nepřítomnosti inhibitoru značně urychluje korozní děje.

V chladicí soustavě vozidla je voda stabilní jen v určitém pásu hodnot potenciálů v závislosti na pH, jednotlivá korozní prostředí vnucují kovu potenciálové (oxidační) podmínky při daném pH.

Se zvyšováním teploty vody obsahující kyslík koroze vzrůstá, aby dosáhla nejvyšších hodnot v rozmezí teplot 60 až 80 °C. Teplota ovlivňuje také složení a fyzikálně chemické vlastnosti vznikajících korozních zplodin. Například při korozi oceli ve vodě za teploty okolo 10°C vznikají přilnavé korozní zplodiny se značnými ochrannými vlastnostmi. Zvýší-li se teplota vody na 80°C, nemají vznikající korozní zplodiny ani ochranné vlastnosti, ani nejsou k povrchu kovu přilnavé. Zvýšíme-li teplotu vody nad 80°C, korozní rychlost se opět snižuje. Korozi ve vodě ovlivňuje také pohyb kapaliny – proudění. Pokud nejsou ve vodě přítomny látky, způsobující pasivaci železa, roste korozní rychlost s rychlostí proudění kapaliny. Proudění také ovlivňuje přísun stimulantů nebo inhibitorů koroze ke kovovému povrchu.

Obdobně jako při korozi v atmosféře se i při korozi ve vodách uplatňuje vliv styku rozdílných kovů a slitin. V následující tabulce (Tabulka 2, str.23) jsou uvedeny korozní reakce dvou styčných kovů, které jsou současně umístěny do vodovodní vody o teplotě 75°C.

Tabulka 2 – Ovlivnění koroze stykem dvou různých kovů ve vodovodní vodě při teplotě 75°C [2]

Číslo	Sledovaný kov	Stykový kov					Velikost styčné plochy
		1	2	3	4	5	
1	Uhlíková ocel	C	D	C	E	E	<
		C	C	C	D	D	>
<2	Hliník	C	C	B	F	F	<
		C	C	C	F	F	>
3>	Zinek	E	E	C	F	F	<
		D	C	C	F	E	>
4	Měď	A	A	A	C	A	<
		B	A	A	C	B	>
5	Mosaz	A	A	A	E	C	<
		B	A	A	E	C	>

Legenda:

< - plocha sledovaného kovu je malá ve srovnání se stykovým kovem

> - plocha sledovaného kovu je větší ve srovnání se stykovým kovem

A – koroze je silně potlačena při styku se stykovým kovem

B – koroze je mírně potlačena při styku se stykovým kovem

C – koroze není stykem kovů prakticky ovlivněna

D – koroze je nepatrně urychlena při styku se stykovým kovem

E – koroze je mírně urychlena při styku se stykovým kovem

F – koroze je značně urychlena při styku se stykovým kovem

Chladicí soustavy automobilových motorů jsou obvykle vyrobeny z několika druhů kovů. Po krátké době používání chladicí kapaliny v ní zjistíme přítomnost iontů těchto kovů. Přitom ionty některého kovu mohou výrazně ovlivnit korozi jiného kovu, např. ionty mědi urychlují korozi železa. Vlivem těchto jevů potom vznikají různé účinné korozní procesy – část chladicí soustavy nekoroduje, zatímco jiné součásti koroze silně napadá. Pro korozi motoru je také nebezpečné zlepšování vlastností nemrznoucích směsí přídavkem etylalkoholu. Etylalkohol působením v kapalině přítomného kyslíku podléhá rychlé oxidaci na kyselinu octovou, která působí silnou korozi, a to především součástí z mědi a hliníku.

Z toho co jsme si řekli v předchozí části, vyplývá, že podmínky panující v chladicí soustavě kapalinou chlazených motorů jsou zároveň podmínkami velice výhodnými pro průběh korozních reakcí. Prakticky všechny moderní motory jsou vybaveny chlazením s nuceným oběhem chladicího média, a koroze tedy probíhá za proudění. Optimální teplota chladicí kapaliny s ohledem na požadavky motoru je 80°C. Tato teplota je na druhé straně z hlediska průběhu korozních reakcí nejméně výhodná. A tak jedinou příjemnou věcí, kterou konstruktéři moderních motorů pamatují na ochranu chladicí soustavy proti korozi, jsou dnes převážně používané uzavřené chladicí systémy. V nich je na nejmenší možnou míru omezeno další okysličování vody. Konečně i neustále se střídající teplot chladicí kapaliny za klidu a za provozu motoru vytvářejí podmínky urychlující korozi.

Jakým způsobem se tedy můžeme bránit korozi chladicí soustavy? Především plněním chladicí soustavy odplyněnou vodou, tj. vodou zbavenou rozpuštěného kyslíku a oxidu uhličitého. Metoda úpravy vody je zcela jednoduchá. Voda se uvede do varu, a oba uvolněné plyny odcházejí se vznikající párou. Je zapotřebí, aby se voda vařila nejméně po dobu asi jedné až jedné a půl hodiny. Takto by se měla upravovat voda nejen pro celkovou náplň, ale také voda, která se do okruhu doplňuje. Vodu lze sice odplyňovat za pomoci vaření, ale tato úprava pro profesionální údržbu vozidel není příliš vhodná a proto se voda upravuje za pomoci chemických činidel. [2]

Možnosti protikorozní ochrany pomocí chemických činidel je přidáním inhibitorů koroze. Již jsme hovořili o tom, že chladicí soustavy motorů jsou obvykle vyrobeny z několika kovů. Tato skutečnost omezuje možnost volby inhibitoru. Mechanismy působení inhibitorů koroze jsou značně složité a závislé na mnoha okolnostech, jejichž sledování není jednoduché. Nynější nemrznoucí kapaliny jsou však inhibitory již vybaveny, avšak je třeba dodržovat termíny výměn nemrznoucích směsí, jinak by došlo k změnám vlastností kapaliny samé tak i k vyčerpání přítomných inhibitorů koroze, a tím ke ztrátě jeho ochranných vlastností.

Tabulka 3 – Korozní účinky provzdušněné destilované vody na různé kovy při teplotě 80°C [2]

Materiál	Korozní úbytky [$\mu\text{m}/\text{rok}$]	Poznámka
Uhlíková ocel	Více než 100	Nebezpečí důlkové koroze
Hliník	0 – 10	
Zinek	50 – 100	
Měď	0 - 10	
Mosaz (Cu85Zn15)	0 – 10	
Mosaz (Cu65Zn35)	10 - 50	

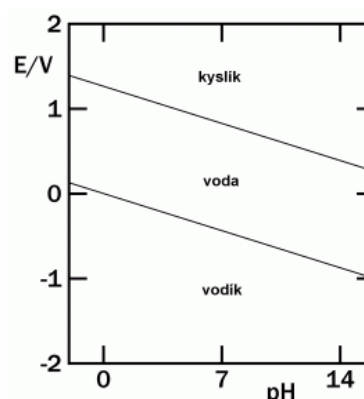
Z tabulky 3 je zřejmé, že hodnoty korozních úbytků zejména u oceli a litiny jsou značné. Vidíme, že úbytky větší než $100\mu\text{m}$ za rok spolu s náchylností k důlkové korozi jsou velmi nebezpečné. Z toho vyplývá nezbytnost upravit destilovanou, nebo demineralizovanou vodu vhodným inhibitorem. [2]

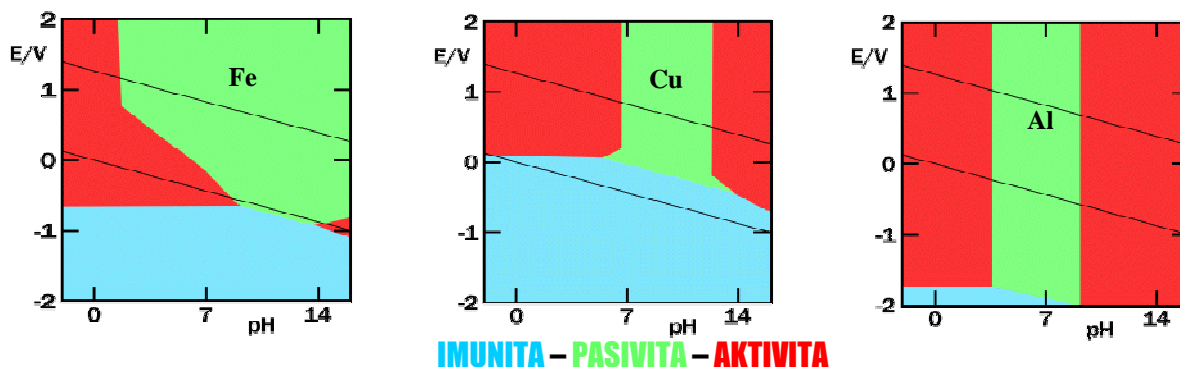
Závěrem tedy můžeme protikorozní ochranná opatření shrnout takto:

- Chladicí soustavu plnit demineralizovanou (destilovanou) odplyněnou vodou, nebo vodou zbavenou tvrdosti a přítomných plynů převařením či přidáním chemických inhibitorů
- Úbytky vzniklé odpařením kapaliny nahrazovat již upravenou vodou
- Včas a pravidelně vyměňovat nemrznoucí směsi v chladicí soustavě vozidla
- Nemrznoucí směsi doplňovat destilovanou vodou

4.2.1. Vliv hodnoty pH na korozi chladicí soustavy

V chladicí kapalině se během provozu zvyšuje kyselost (pH), to postupně vede ke vzniku koroze a poškození motoru. Běžným měřením se stanoví pouze bod tuhnutí, ale kyselost (pH) je velmi výrazný faktor, který ovlivňuje funkci chladicí kapaliny a životnost součástí motoru. Sledování a udržování doporučené hodnoty pH nepochybně má značný význam. V praxi ale velmi často dochází k hrubému zlehčování korozní problematiky. Obrázkem takového nebezpečně zjednodušujícího pohledu je častá domněnka, že znalost hodnoty pH prostředí (tj. vody) je dostačující pro určení intenzity budoucího korozního napadení kovového materiálu. Je třeba, aby význam hodnoty pH nebyl přeceňován a nebyl jediným kritériem odhadu korozního chování. [1]





Obrázek 8 – Pourbaixovy diagramy pro uvedené kovy [11]

Důležitým faktorem a základní informací o stabilitě kovu ve vodném elektrolytu je řada standardních elektrodových potenciálů. Kov je v rovnováze se svými rozpustnými korozními produkty a jedinou komplexotvornou látkou je voda. Voda je stabilní jen v určitém pásmu hodnot potenciálů v závislosti na pH (viz. šikmé čáry na obr. 8), jednotlivá korozní prostředí vnucují kovu potenciálové (oxidační) podmínky při daném pH.

Pourbaixovy diagramy zachycují redukčně-oxidační a acidobazické rovnovážné diagramy pro zvolené ionty. Umožňují předpovědět nebo vysvětlit korozi, pasivaci či odolnost daného prvku.

Oblast značená na diagramu pro systém železo-voda modře vymezuje podmínky termodynamické stability železa, za kterých koroze nemůže probíhat. Koroze bude samovolně probíhat za podmínek existujících v oblasti mezi čarami omezující oblast stability železa a čarou vyjadřující rovnováhu oxidačně-redukční reakce kyslíku (vrchní čára) nebo vodíkových iontů (spodní čára). Koroze železa, při kterém budou oxidačními činidly pouze ionty H^+ (prostředí bez vzdušného kyslíku – pod spodní čarou), bude pak probíhat mezi spodní čarou a oblastí stability železa (oblast modré barvy). Koroze, při níž se uplatní oxidační vliv kyslíku, bude probíhat mezi oblastí stability železa (oblast modré barvy) a vrchní čarou. Přitom složení korozních produktů je určováno oblastí diagramu, ve kterém je průsečík příslušné hodnoty pH a rovnovážného potenciálu této celkové reakce. Diagram tak ukazuje, že koroze má větší hnací sílu při účasti kyslíku než při účasti vodíkových iontů, neboť rozdíl oxidačně-redukční potenciálů obou dílčích reakcí je větší. Diagramy sestavené pro systém kov-voda lze použít i k posouzení termodynamické pravděpodobnosti koroze ve vodném roztoku elektrolytu, pokud nemá komplexotvorný nebo oxidační účinek na ionty daného kovu, netvoří s nimi nerozpustné sloučeniny a je v daném potenciálovém rozmezí elektrochemicky stabilní. [1]

Seznam obrázků a vložených objektů:

Obrázek 1 – Schéma okruhu chlazení.....	- 12 -
Obrázek 2 – Plošná koroze, Obrázek 3 – Štěrbínová koroze	- 18 -
Obrázek 4 – Bodová koroze, Obrázek 5 – Mezikrystalová koroze	- 19 -
Obrázek 6 – Selektivní koroze, Obrázek 7 – Erozní koroze	- 20 -
Obrázek 8 – Pourbaixovy diagramy pro uvedené kovy	- 26 -
Obrázek 9 – Korozně napadený blok motoru	- 27 -
Obrázek 10 – Zanesení chladiče chladicí soustavy vozidla.....	- 28 -
Obrázek 11 – Ukázky napadení těsnících a spojovacích komponentů.....	- 29 -
Obrázek 12 – Ukázka poruchy výměníku tepla automatické převodovky.....	- 30 -
Obrázek 13 – Schéma těsnění vodního čerpadla.....	- 31 -
Obrázek 14 – Porovnání těsnících kroužků vodního čerpadla.....	- 31 -
Obrázek 15 – Litinový blok motoru	- 32 -
Obrázek 16 – Srovnání stavu kapalin.....	- 36 -
Obrázek 17 – Filtr pro získání nečistot z okruhu.....	- 37 -
Obrázek 18 – Zapojení filtrace do okruhu.....	- 37 -
Obrázek 19 – Odfiltrované nečistoty z okruhu vozidla po 150 000 km	- 38 -
Obrázek 20 – Odfiltrované nečistoty z okruhu vozidla za výrobní linkou	- 39 -
Obrázek 21 – Vzorky chladicí kapaliny	- 39 -
Obrázek 22 – Vzorek Dopravní podnik Jihlava.....	- 41 -
Obrázek 23 – Vzorek č.1 Dopravní podnik Pardubice	- 42 -
Obrázek 24 – Vzorek č.2 Dopravní podnik Pardubice	- 42 -
Obrázek 25 – Vzorek č.1 Dopravní podnik Brno.....	- 42 -
Obrázek 26 – Vzorek č.2 Dopravní podnik Brno.....	- 43 -
Obrázek 27 – Odstranění nečistot před z bloku motoru před montáží do vozidla. -	44 -
Obrázek 28 – Pourbaixovy diagramy.....	- 45 -
Obrázek 29 – Sjednocený Pourbaixův diagram pro Fe, Cu, Al.....	- 46 -

Tabulka 1 – Složení chladicí soustavy autobusu.....	- 13 -
Tabulka 2 – Ovlivnění koroze stykem dvou různých kovů ve vodovodní vodě při teplotě 75°C.....	- 23 -
Tabulka 3 – Korozní účinky provzdušněné destilované vody na různé kovy při teplotě 80°C	- 25 -
Tabulka 4 – Materiálové složení odfiltrovaných nečistot z chladicího okruhu vozidla... ..	- 38 -
Tabulka 5 – Chemický rozbor vzorku č.1	- 40 -
Tabulka 6 – Chemický rozbor vzorku č.2.....	- 40 -
Tabulka 7 – Rozbor vzorku z Dopravního podniku Jihlava	- 41 -
Tabulka 8 – Rozbor vzorku č.1 Dopravního podniku Pardubice	- 42 -
Tabulka 9 – Rozbor vzorku č.2 Dopravního podniku Pardubice	- 42 -
Tabulka 10 – Rozbor vzorku č.1 Dopravního podniku Brno.....	- 42 -
Tabulka 11 – Rozbor vzorku č.2 Dopravního podniku Brno.....	- 43 -

Seznam použité literatury:

- [1] - BARTONÍČEK, Robert. *Navrhování protikorozi ochrany*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 287 s.
- [2] - ČERVENÝ, Jaroslav. *Koroze a protikorozi ochrana automobilů*. Praha: NADAS, 1981. 178 s.
- [3] - ČERVENÝ, Ladislav a Jitka NĚMCOVÁ. *Inhibitory koroze kovů*. Praha: SNTL, 1964. 163 s.
- [4] - BARTONÍČEK, Robert. a kol. *Koroze a protikorozi ochrana kovů*. Academia Praha, 1966.
- [5] - KALABISOVÁ, Eva a Tomáš KUBATÍK. *Posouzení příčin koroziho napadení bloku motoru*. Praha: SVÚOM, 2009.
- [6] - NOVÁK, Pavel. *Druhy koroze kovů*. Praha: VŠCHT, 2002. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_2.pdf
- [7] - RŮŽIČKA, Jan a Milada KRČKOVÁ. VELVANA, a.s., *Tisková zpráva*. Velvary, 2005.
- [8] - VELVANA, a.s., *Safety data sheet for Fridex Eco Extra*, Velvary, 2004.
- [9] - ASTM Standard D1384, *Standard test method for corrosion test for Engine coolants*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, DOI: 10.1520/D1384-05E01, www.astm.org
- [10] - BARTONÍČEK, Robert. *Volba materiálu a protikorozi ochrana v chemickém průmyslu*, Praha: SNTL, 1980. 433s.
- [11] - NOVÁK, Pavel. *Koroze materiálů – Doplněk k přednáškám*. Praha: VŠCHT. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu/koroze_materialu_doplněk_prednasek.pdf