

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

**Úprava elektrotechnických zařízení do
ztížených provozních prostředí**

Doc. Ing. Ivan Kudláček, CSc.

2005

Vydavatelství ČVUT

Úvod

Elektrotechnická výroba má více jak stoletou tradici. V době vzniku prvních elektrotechnických zařízení měl konstruktér a technolog pro realizaci výrobku k dispozici přírodní materiály (slídu, papír, azbest, celulózu). Z dnešního pohledu byly elektrotechnické výrobky předimenzované. Bylo to dáno jednak materiálovou skladbou, z nichž byla elektrotechnická zařízení vyráběna, a jednak nebyly ještě tak rozvinuté poznatky o vlastnostech materiálů. Vzhledem k tomu, že zařízení byla využívána v mírném pásmu a životní prostředí nebylo výrazně znečištěno, nebyly tyto skutečnosti překážkou při výrobě a užívání elektrotechnických zařízení.

Významným mezníkem ve výrobě elektrotechnických zařízení byla padesátá léta minulého století. V tomto období nastupují do praktického využití nové typy materiálů (plasty) a objevují se technologie zlepšující vlastnosti přírodních materiálů (např. zpracování slídy papírenskou technologií). Prosazují se i požadavky na větší zatížení materiálů (vyšší tepelné třídy). Zároveň jsou elektrotechnická zařízení ve větší míře provozována ve ztíženém klimatickém prostředí, zejména tropickém.

Dalším zlomem ve výrobě elektrotechnických zařízení byla osmdesátá léta minulého století. Je to období, kdy se začíná prakticky prosazovat elektronizace. Elektronická zařízení se stávají nedílnou součástí technických zařízení (např. kontrolují, řídí a regulují činnost silnoproudých zařízení). To klade zvýšené požadavky na spolehlivost a životnost elektronických zařízení. Shodou okolností v tomto období vrcholí v technicky vyspělých zemích znečištění prostředí polutanty síry a elektronická zařízení jsou na korozní prostředí značně citlivá.

V současném období je na elektrotechnické zařízení a jeho výrobu kladen požadavek snížené energetické náročnosti. Předpokládá se, že elektrotechnické zařízení bude vyrobeno z ekologicky nezávadných materiálů a pomoci šetrných technologií. Po skončení doby technického života by měla být převážná část elektrotechnického zařízení recyklována. S požadavkem ekologické nezávadnosti je spojena nutnost vyloučit z výroby materiály, které mají sice z elektrotechnického hlediska výhodné vlastnosti (např. azbest, kadmium a další), jsou ale ze současného hlediska nepoužitelné.

Zajistit požadavky kladené na moderní elektrotechnické zařízení znamená zvládnout celou řadu přístupů a technologických opatření. U elektrotechnického zařízení se jedná o komplikovanou záležitost, neboť to se skládá z široké škály materiálů (kovů, izolantů, konstrukčních plastů, polovodičů, funkčních povlaků, atp.), zpracovaných rozličnými technologiemi. Problematika úpravy zařízení byla vysoce aktuální v padesátých a osmdesátých letech minulého století, v souvislosti s exportem čs. zařízení do rozvojových zemí. Na významu nabývá v současnosti, kdy se náš průmysl znova snaží uplatnit v tomto regionu.

Pro problematiku úpravy zařízení bylo vydáno v minulosti několik sborníků a manuálů [1,5 až 9], které jsou dnes již nedostupné, nebo uváděné informace jsou překonané. Tato skripta by měla nedostupné literární podklady nahradit a poskytnout posluchači souhrnné informace o problematice úpravy elektrotechnických zařízení do ztížených provozních podmínek.

I. Obecné zásady

Pro správnou volbu provedení elektrotechnických a strojírenských výrobků, z hlediska jejich ochrany proti působení provozních podmínek, je nezbytným výchozím podkladem znalost druhu a intenzity činitelů, které budou na výrobek působit. Nejspolehlivějším vodítkem k tomu je podrobný průzkum těchto podmínek na místě, doplněný podle možností i zjištěním stavu znehodnocení podobných výrobků, které v dané lokalitě již pracují.

1.1 Charakterizace znehodnocujících vlivů

1.1.1 Základní znehodnocující faktory

Výsledná agresivita podmínek, které se budou na znehodnocování výrobku podílet, je dána kombinací těchto faktorů:

- klimatickými podmínkami,
- znečištěním ovzduší,
- umístěním výrobku,
- vlastnostmi výrobku a jeho provozními podmínkami.

Komplexní představu o agresivitě prostředí lze získat zhodnocením všech těchto faktorů a jejich kombinací. Pro volbu ochrany výrobků je proto třeba získat potřebné informace, např. formou dotazníku (příloha 1). Nezbytné jsou rovněž makroklimatické údaje z dané oblasti, pro níž je ochrana výrobku řešena.

1.1.1.1 Klimatické podmínky

Nejčastějším vodítkem pro volbu provedení výrobků je údaj o *makroklimatické oblasti* místa jeho určení. Platí to zejména při vývozu do zemí se ztíženými klimatickými podmínkami. Makroklimatické oblasti jsou definovány pouze teplotou (maximální, minimální a průměrnými ročními teplotami), relativní vlhkostí, obecně stanovenou salinitou, popř. ještě slunečním zářením nebo výskytem prachu a písku. Jde tedy o činitele, významné především pro znehodnocování organických materiálů, málo významné pro korozi kovů. Proto se členění na makroklimatické oblasti uplatňuje nejvíce při volbě provedení elektrotechnických výrobků, u nichž bývá pro jejich životnost a spolehlivost rozhodující stálost jejich izolačních materiálů a u nichž může vlhkost vzduchu vážně ovlivnit i další funkčně významné parametry.

Představu o rozdělení zemského povrchu na makroklimatické oblasti pro technické účely lze získat z tab. 1.

Název	Určení
makroklimatická oblast s velmi studeným klimatem	oblasti, kde je střední minimální teplota nižší než $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Antarktida)
makroklimatická oblast se studeným klimatem	oblasti, kde je střední minimální teplota nižší než $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, ne však nižší než $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$
makroklimatická oblast s mírným klimatem	oblasti, kde je střední maximální teplota nižší než $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a střední minimální teplota je vyšší než $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

makroklimatická oblast s tropickým vlhkým klimatem	oblasti, kde současně působí teploty rovné nebo vyšší než 20 °C a relativní vlhkost rovná nebo vyšší než 80 % po dobu 12 nebo více hodin během 24 h, a to nepřetržitě od 2 do 12 měsíců v roce
makroklimatická oblast s tropickým suchým klimatem	oblasti, kde je střední maximální teplota vyšší než +40 °C
makroklimatická oblast s mírně studeným mořským klimatem (mírně studená mořská)	moře, oceány a pobřežní území pod přímým vlivem mořské vody, nacházející se severně od 30° severní šířky anebo jižně od 30° jižní šířky
makroklimatická oblast s tropickým mořským klimatem	moře, oceány a pobřežní území pod přímým vlivem mořské vody, nacházející se mezi 30° severní šířky a 30° jižní šířky

Tab. 1 Rozdělení zemského povrchu na makroklimatické oblasti¹

Informace v této tabulce jsou velmi hrubé. Makroklimatické oblasti jsou totiž vymezeny na základě průměrného výskytu základních klimatických činitelů a jejich časového průběhu na poměrně značně velkých zeměpisných plochách. Ve všech makroklimatických oblastech se ale vždy vyskytují menší zeměpisné regiony s klimatickými podmínkami, odlišnými od průměru. Na vytvoření tohoto *mezoklimatu* se podílí geografické uspořádání, vegetace, výstavba, průmysl apod. Typické mezoklima představují horské oblasti, jejichž klimatické podmínky se podle nadmořské výšky mohou od makroklimatu oblasti značně lišit především nižší teplotou a vyšším slunečním zářením. Někdy se nevystačí ani s charakteristikou mezoklimatu a je třeba rozlišovat místní podmínky v ještě omezenějších prostorách tzv. *mikroklimat*ech. Např. v bezprostředním okolí výrobku se vytváří provozní prostředí, jehož mikroklima (ve vnitřních uzavřených prostorách označované též jako *kryptoklima*) závisí na místních podmínkách umístění výrobku a často i na jeho vlastní funkci.

Studené oblasti

Minimální teploty jsou v těchto oblastech nižší než -60 °C a extrémy se blíží až -80 °C. Za minimální teplotu, při níž bude zařízení určené do těchto podmínek ještě uváděno do chodu a bude pracovat při plné zátěži, se považuje teplota -60 °C. V krytých, uzavřených prostorách až -30 °C. Maximální teploty zřídka přestoupí +30 °C. Mimořádnou pozornost je nutno věnovat zařízením, vystaveným přímému účinku větru. Při teplotě -60 °C může při běžné rychlosti větru klesnout teplota povrchu o dalších 15 - 20 °C. Tento pokles teploty způsobuje již změnu vlastností některých ocelí a hliníkových slitin. Kromě toho vzniká nebezpečí z přechlazení u zařízení plněných olejem, u nichž může zmrznout olej v trubkových chladičích, v hydraulických systémech apod.

V těchto oblastech je věčně zmrzlá půda, která má vysoký elektrický odpor. V létě, kdy půda do určité hloubky rozmrzne, splňuje uzemnění uložené v zemi svůj účel. V zimě stoupá odpor uzemnění až na hodnoty, kdy uzemnění ztrácí svou ochrannou funkci.

Elektrické izolační vlastnosti nejsou nízkou teplotou ohrožovány. V daleko větší míře jsou ohroženy mechanické vlastnosti. V důsledku rozdílných koeficientů roztažnosti různých

¹ Rozdělení zemského povrchu na makroklimatické oblasti pro technické účely vychází ze zrušené ČSN 03 8206 „Rozdělení zemského povrchu na klimatické oblasti pro technické účely.“

materiálů se u elektronických elementů a funkčních celků negativně uplatňují pasivní odpory pohybujících se mechanických dílů (zablokování magnetických spínačů apod.).

Vliv nízké teploty na izolační vlastnosti se projevuje zejména u zařízení pracujících venku s dlouhými pracovními přestávkami. Velmi často se s takovými případy setkáváme u elektrických dopravních zařízení. Izolace motorů bývá vlivem vysoké vlhkosti chladicího vzduchu v jarním období a nedostatečného zatížení stroje v provozu navlhlá. V době, kdy zařízení stojí, např. v noci, dojde k promrznutí izolace a tím i ke zlepšení izolačního stavu. Případná kontrola před uvedením zařízení do chodu závadu nezjistí. Při postupném ohřevu zařízení klesá jeho izolační odpor. Při ohřátí nad 0 °C, kdy voda pohlcená vinutím změní skupenství, klesne izolační odpor na kritickou hodnotu, což vede v mnohých případech až k průrazu.

Dalším činitelem, který je nutno uvažovat v těchto oblastech, je poměrně velký podíl u infračervené složky slunečního záření, která způsobuje rychlejší stárnutí plastů a nátěrů. I když globální hodnota slunečního záření je v porovnání s ostatními oblastmi nízká, působí sluneční záření během v této oblasti během léta dne po dlouhou dobu. Ohřev částí vystavených slunečnímu záření a podchlazení částí ve stínu může vyvolat mechanické pnutí. Toto nebezpečí je zejména u izolátorů.

Na venkovním vedení vn ve studené oblasti se často tvoří tlustá vrstva jinovatky, zvyšující hmotnost vodiče a tím i jeho mechanické namáhání. Sněhová pokrývka, i když leží na venkovních zařízeních většinu doby v roce, není vysoká (300 - 500 mm).

Podmínkám studených prostředí uměle vytvářených (chladírny, mrazírny, zkapalňovače plynů apod.) bývají elektrické prvky vystaveny poměrně vzácně (s výjimkou motorů ventilátorů a dopravních vozíků). Od přírodních podmínek se liší především tím, že při otevření prostoru nebo netěsnostmi vniká z venkovní atmosféry dovnitř vlhký vzduch, který vytváří jinovatku a námrazu v daleko větší míře, než je tomu v přírodním prostředí.

Tropické oblasti suché

Teplota vzduchu ve stínu dosahuje v těchto oblastech maxima 45 až 50 °C (výjimečně může dosáhnout až 70 °C). Hodnoty vyšší jak 50 °C, je nutno očekávat v provozech, zejména v blízkosti zdrojů vyzařujících teplo, v prostředí obytných budov, laboratoří, kanceláří a dalších prostorů, kde se teplota v létě pohybuje v průměru kolem 36 - 42 °C. V zimě klesá teplota na 5 až 10 °C. Klimatizace je jen v dobře vybavených prostorech (některých kancelářích, laboratořích, společenských místnostech, obchodech a bytech).

Přestože relativní vlhkost vzduchu je v těchto oblastech v průměru nízká, je poměrně vysoká absolutní vlhkost (14 g.cm⁻³). Na zařízeních, vystavených přímému vlivu povětrnosti, dochází často ke kondenzaci vlivem teplotních změn mezi dnem a nocí. Během noci teplota klesá až na 15 °C, ve volných prostorách pouště ještě níže. Kondenzací jsou vystavena zejména venkovní zařízení, stožáry, izolátory, které se ochladí vyzářením na teplotu daleko nižší, než je teplota vzduchu. Ráno, když se vzduch ohřeje rychleji, dojde ke kondenzaci vodní páry, která trvá na objektech s velkou tepelnou kapacitou i několik hodin.

S kondenzací vody se můžeme setkat dosti často u vinutí elektrických strojů, k němuž je přiváděn chladicí vzduch z venkovní atmosféry. Je-li stroj umístěn v budově přes noc mimo provoz, ochladí se na teplotu vzduchu v budově. Ráno při uvedení do provozu je již chladicí

vzduch ohřátý na vyšší teplotu než je teplota vinutí a na vinutí dojde ke kondenzaci. Nestačí-li se zkondenzovaná voda rychle odpařit, může dojít k přeskoku nebo průrazu.

V těchto oblastech zpravidla několik měsíců nejsou srážky, takže depozice zůstávají na povrchu a vytváří spolu s vodou vodivou vrstvu, která způsobuje na izolátorech přeskoky a urychluje korozi kovových částí.

Velmi nebezpečným činitelem v suchých tropických oblastech je prach, který ohrožuje mechanickou i elektrickou funkci zařízení. Vniká do nekrytých ložisek, usazuje se na povrchu elektrických zařízení a zhoršuje chlazení, vniká mezi kontakty, u nichž buď zvyšuje přechodový odpor, nebo vyřadí kontakt zcela z funkce.

Ve většině oblastí v poušti nebo její blízkosti je nutno počítat s *abrazivními účinky* písku, který má vlivem větru značnou kinetickou energii. Abrazí jsou poškozovány nátěry, sklo a plasty. Obnažený povrch oceli vlivem kondenzace koroduje. Jelikož létajícím pískem se stále odstraňují vzniklé korozní zplodiny, je ocel neustále aktivována. Nebezpečné jsou zejména přímořské oblasti, kde písek obsahuje velké množství soli a ostrých štěpinek mušlí. Korozní škody v pobřežních regionech suchých tropických oblastí často přesahují škody ve vlhkých tropických oblastech, kde se abrazivní vliv písku neuplatňuje.

Vysoká teplota a nedostatek srážek má za následek dlouhotrvající období s velmi nízkou relativní vlhkostí, která v některých oblastech blízko pouště klesá až na 10 %. Nízká vlhkost společně s vyšší teplotou způsobuje změnu mechanických vlastností a někdy i rozměrů některých plastů.

V suchých tropických oblastech není nebezpečí mikrobiální infekce a většinou ani napadení jinými biologickými činiteli (hmyzem nebo malými živočichy). *Sluneční záření* je v těchto oblastech velmi intenzivní. Globální hodnota převyšuje $9,63 \text{ GJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$. Vlivem slunečního záření dochází k rychlejšímu znehodnocování nátěrů, pryží a plastů.

Některá území, vymezená jako suché tropické oblasti, mají pobřežní území, která mají současně charakter suchých i vlhkých tropických oblastí. Pro přímořské oblasti je nutno dodávat zařízení v provedení, které respektuje teplotní maxima suchých tropických oblastí, vysokou vlhkost a účinky písku a prachu. Obvykle není v těchto klimatických zónách nebezpečí biologické infekce.

Tropické oblasti vlhké

Maximální teploty ve stínu v tropicky vlhkých oblastech nepřesahují $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Na rozdíl od suchých tropických oblastí neklesá teplota v noci více než o 5 až $7 \text{ }^\circ\text{C}$. V zimě teplota klesá podle zeměpisné šířky a polohy až na 20 až $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Vlastní teplota vzduchu není většinou rozhodující, protože většina elektrických zařízení je v současné době pro teplotu $40 \text{ }^\circ\text{C}$ konstruována.

Nebezpečná je v těchto oblastech vysoká relativní i absolutní vlhkost, zejména dlouhodobé trvání a častý výskyt. Vysoké relativní vlhkosti dosahuje vzduch v těchto oblastech proto, že teploty nejsou příliš vysoké, ale že je trvale vysoká absolutní vlhkost ($20\text{-}25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Klimatizační zařízení jsou jen v některých prostorech, např. provozech, kde toto opatření vyžaduje druh výroby nebo charakter práce. Někdy jsou instalována jen odvlhčovací zařízení

nebo ventilátory. Chlazení a odvlhčování prostorů je v těchto oblastech ekonomicky i energeticky velmi náročné. Proto je mezi jednotlivými zeměmi i jednotlivými místy téhož státu v technickém vybavení klimatizačních jednotek velký rozdíl.

Výskyt rosy není v tropických oblastech příliš častý, a to proto, že jsou poměrně malé rozdíly teploty mezi dnem a nocí. Častěji dochází k výskytu rosy v alternativních oblastech. Ve vlhkých tropických oblastech však vzhledem k vysoké relativní vlhkosti stačí malý rozdíl mezi teplotou vzduchu a povrchu tělesa, aby došlo ke kondenzaci vodní páry. Z tohoto důvodu bývají nebezpečné právě klimatizované prostory v období, kdy je klimatizace vypnuta nebo dveřmi vnika při častém otevírání teplý vlhký vzduch, který kondenzuje zejména na předmětech, umístěných blízko dveří (příčinou mohou být i různé netěsnosti).

Globální množství slunečního záření v těchto oblastech za rok nedosahuje hodnot, které se vyskytují v suchých tropických nebo subtropických oblastech. Okamžitá intenzita slunečního záření je však zhruba na téže úrovni. Přes značnou oblačnost dochází vlivem slunečního záření k výrazné degradaci některých plastů a organických povlaků. Degradaci urychluje u většiny materiálů střídání slunečního záření a vysoké vlhkosti.

Optimální podmínky pro vegetaci mikroorganismů ve vlhkých tropických oblastech jsou příčinou napadání některých materiálů mikroorganismy (nejčastěji plísněmi). V současné době se tomuto nebezpečí zdaleka nepřikládá takový význam jako v minulosti, a to proto, že v elektrických zařízeních se používá řada materiálů, které nejsou plísněmi napadány. Nebezpečí napadení plísněmi je v prostorech s omezeným přístupem světla nebo zcela temných s klidnou atmosférou a teplotou do 30 °C a relativní vlhkostí 80 - 100 %. Nebezpečí plísněvého napadení se zvyšuje, jestliže je povrch materiálu znečištěn organickými látkami, jako je tuk, pot apod.

K napadení termity dochází výjimečně, a to jen v lokalitách, kde se termiti skutečně ve velké míře vyskytují. Napadena mohou být zařízení umístěná v zemi a blízko země. Termiti často poškozují např. dřevěné obaly ve skladech bez podlah, nábytek a dřevěné kostry staveb. Výjimečně jsou napadány položené kabely, popř. další předměty skladované v suterénu nebo v přízemních skladech. Nepříjemnosti mohou vyvolat hadi tím, že proniknou otvory v podlaze do rozvaděčů, kde mohou způsobit při zapnutí zkrat. Krysy někdy napadají plasty a mohou páchat škody ve skladech nebo i v rozvaděčích.

Ve vlhkých tropických oblastech jsou též častým zjevem bouře, tajfuny a cyklony. Ohrožují zejména venkovní zařízení.

Alternativní oblasti

Do této kategorie spadají oblasti, kde po určitou dobu v roce převládá počasí, které má charakter vlhkých tropických oblastí s většími rozdíly teploty mezi dnem a nocí a kde část roku je sucho. V době sucha bývá v oblastech s jílovitou půdou velké množství prachu, který se usazuje na povrchu elektrických zařízení a vnika i dovnitř zařízení. Jakmile nastane období dešťů a vlhka, prach zvlhne, což má za následek zhoršení elektrických vlastností a často elektrický přeskok po povrchu izolačních částí. V těchto oblastech bývají v suchém období poměrně vysoké teploty (až 45 °C).

Na rozdíl od pouštních oblastí není nutné se v alternativních oblastech obávat písečných bouří (abraze pískem se zde neuplatňuje). Orosení je velmi časté v důsledku větších změn

teplot. Vysoká vlhkost působí kratší dobu než v oblastech tropických vlhkých, takže je zde rychlost koroze nižší. Menší je také nebezpečí plísňového napadení.

Horské a vysokohorské oblasti

Tímto názvem jsou označovány oblasti v nadmořské výšce nad 2 000 m. Společným faktorem těchto oblastí je snížený tlak vzduchu a vyšší intenzita ultrafialového záření. Ve všech klimatických zónách je touto polohou ovlivněno i klima. V mírných a studených klimatických zónách se tyto oblasti vyznačují delším trváním zimy, větší sněhovou pokrývkou, častějším výskytem bouří a větrů. Průměrná teplota je nižší, ale minimální teploty nejsou nižší než v nížinách. Ve větších výškách je nutno počítat s trvalou sněhovou pokrývkou a místy s trvale ležícím ledem.

V horských tropických oblastech suchých i vlhkých je značně redukován vliv teploty. Ve většině případů lze tyto klimatické podmínky považovat téměř za "mírné". Ve vlhkých tropických oblastech bývá i v těchto zónách zvýšená relativní vlhkost vzduchu.

Přímořské oblasti

Přímořské oblasti (do 5 km od pobřeží) mají ve všech klimatických zónách podobný charakter. Zesilován nebo redukován bývá podnebním pásmem. Především je nutno počítat s vlivem soli, která může být zanášena různě daleko od pobřeží. Vzdálenost je ovlivněna charakterem pobřeží, vzdušnými proudy a dalšími činiteli. V suchých oblastech se sůl může vyskytovat v krystalické formě a může být unášena větrem společně s pískem nebo prachem. Ve formě aerosolu se sůl objevuje v mírných a vlhkých tropických oblastech. Vliv soli je výraznější v oblastech, kde se vyskytují mlhy, orosení a vysoká vlhkost vzduchu.

Korozní agresivita přímořských oblastí je značně závislá na obsahu soli v mořské vodě, který je ve studených oblastech asi 0,5 % a stoupá směrem k rovníku až na 3,5 %. Zvýšená teplota urychluje korozní proces. V tropických přímořských oblastech je průběh koroze mnohem rychlejší než v oblastech přímořských v mírném pásmu. Zvýšená salinita se obvykle vyskytuje 2 - 5 km od pobřeží. Vzdušnými proudy ve větších výškách může být sůl ale přenášena i do větších vzdáleností (až 20 km). Ve studených a mírných oblastech je působení soli zesilováno mlhami a v suchých oblastech rychlými změnami teplot, které vedou často ke kondenzaci.

Maxima a minima teplot jsou obvykle poblíž pobřeží redukována, takže změny teploty v průběhu roku i v průběhu dne nejsou tak velké jako ve vnitrozemí. Na menších ostrovech je klima ovlivňováno zcela přítomností moře. Pobřežní oblasti velkých kontinentů zasahuje vliv moře uvedenými účinky do různé vzdálenosti a je závislý na reliéfu pobřeží, vzdušných proudech apod.

Městské silně znečištěné klima

Vytváří se v hustě zalidněných lokalitách a v okolí průmyslových závodů. Hlavní složkou znečištění ovzduší do první poloviny devadesátých let minulého století byl SO₂ a v přímoří Cl⁻. V současné době k těmto polutantům v městské atmosféře přistupují oxidy dusíku (NO_x). Trend ve snížení znečištění SO₂ v ČR se projevoval postupně od 80 let. Nejrychlejší a nejvýznamnější změny nastaly v letech 1993-95, kdy byly odsířeny prakticky všechny velké zdroje znečištění. V současné době jsou na 80% území ČR průměrné roční koncentrace SO₂

na hodnotách pod $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Výjimku tvoří centra velkých měst (Praha, Ostrava). Znečištění oxidy dusíku nevykazuje tak zřejmý klesající trend, ale tato znečištění je sledováno podstatně kratší dobu (od roku 1987).

Účinky znečištění v městském regionu jsou závislé na makroklimatické oblasti. Daleko výrazněji se projeví v oblastech, kde je vyšší relativní vlhkost a častější výskyt mlhy. Znečištění atmosféry je pro elektrické zařízení nebezpečné ve vlhkých tropických oblastech, v oblastech přímořských v obdobích mlh a v oblastech mírných i studených. Jde především o urychlenou korozi dílů z oceli, mědi a součástek ze stříbra. Prach zvlhnutím zhoršuje izolační vlastnosti povrchu.

Mikroklima chemických a jiných provozů

V celé řadě výroby dochází ke znečišťování atmosféry velmi agresivními plyny (SO_2 , NH_3 , Cl_2 , NO_x aj.), aerosoly a prachem. Prach může být buď neutrální nebo chemicky aktivní. Spolu s vysokou vlhkostí (atmosférickou nebo vyvolanou výrobním procesem) se vytváří specifické mikroklima velmi nebezpečné pro elektrická a zejména elektronická zařízení. Chemicky aktivní prach zvyšuje vodivost elektrolytu a zhoršuje chlazení tím, že vytváří tepelně izolační vrstvu. Chemicky neutrální prach působí korozívně tím, že pohlcuje vlhkost, zdrsňuje povrch, čímž snižuje hranici kritické vlhkosti, při níž koroze začne probíhat rychleji. Kromě toho zhoršuje odvod tepla.

Agresivita těchto prostředí je v některých případech ovlivněna klimatickou oblastí. Méně nebezpečné jsou zpravidla provozy v suchých oblastech. Ve vlhkých tropických oblastech je agresivita znásobena vysokou a dlouhotrvající relativní vlhkostí. V provozech, kde je vysoká vlhkost produktem výrobního procesu, nebude mezi agresivitou provozu v jednotlivých oblastech podstatný rozdíl.

1.1.1.2 Znečištění ovzduší

Znečištění ovzduší má zásadní vliv na průběh atmosférické koroze. Ta závisí vedle stimulatorů koroze na úrovni relativní vlhkosti a teplotě vzduchu a na vlastnostech znehodnocovaného kovu. Klasifikační systém *korozní agresivity* vnějších prostředí je založen na dvou rovnocenných postupech [N2], a to na:

- klasifikaci odvozené z vlastností prostředí podle údajů o době ovlhčení a úrovni znečištění,
- klasifikaci založené na stanovení korozní rychlosti standardních kovových vzorků.

S relativní vlhkostí vzduchu souvisí doba ovlhčení. Ta je definována jako období, během kterého je povrch kovu pokryt adsorpční nebo kapalnou vrstvou elektrolytu, který je schopný vyvolat atmosférickou korozi. Vedle toho výkladu se můžeme setkat s pojmem vypočtená *doba ovlhčení*. Podle ČSN ISO 9223 to je doba ovlhčení, stanovená z teplotně vlhkostního komplexu. Je tím myšleno období, za které v průběhu roku nepoklesne teplota pod 0°C a relativní vlhkost pod 80 %.

Tato definice doby ovlhčení neodpovídá plně skutečnosti, protože ovlhčení je ovlivňováno celou řadou faktorů, jako např. druhem kovu, jeho hmotností, stavem povrchu, množstvím korozních zplodin apod. Tyto faktory mohou skutečnou dobu ovlhčení jak snižovat, tak zvyšovat. Vhodnost aplikace vypočtené doby ovlhčení klesá i se stupněm krytí výrobku. Doba

ovlhčení ve smyslu uvedené definice závisí na makroklimatické oblasti a kategorii umístění výrobku. Klasifikace doby ovlhčení v různých atmosférách je v tab.2. V intervalu doby ovlhčení τ_1 se nepředpokládá kondenzace vodní páry. Pro doby ovlhčení z intervalu τ_1 a τ_2 je pravděpodobnost koroze vyšší u zaprášených povrchů. V dobách ovlhčení v intervalech τ_3 až τ_4 se může vyskytovat kondenzace se srážkami.

Klasifikovaný interval	Doba ovlhčení		Příklad výskytu
	(h.rok ⁻¹)	(% v roce)	
τ_1	$\tau \leq 10$	$\tau \leq 0,1$	vnitřní mikroklimata s řízenými klimatickými podmínkami
τ_2	$10 < \tau \leq 250$	$0,1 < \tau \leq 3$	vnitřní mikroklimata bez řízených klimatických podmínek
τ_3	$250 < \tau \leq 2500$	$3 < \tau \leq 30$	venkovní atmosféry v suchých a chladných klimatech; účinně provětrávané přístřešky
τ_4	$2500 < \tau \leq 5500$	$30 < \tau \leq 60$	venkovní atmosféra ve všech klimatických oblastech; provětrávané přístřešky ve vlhkých podmínkách; nevětrávané přístřešky v mírném klimatu
τ_5	$5500 < \tau$	$60 < \tau$	vlhké klima; nevětrávané přístřešky ve vlhkých podmínkách

Tab.2 Klasifikace doby ovlhčení [N2]

Úrovně znečištění rozhodujících korozních činitelů se klasifikují samostatně pro znečištění oxidem siřičitým a vzdušnou salinitou. Pro každý z těchto stimulatorů koroze se stanovují čtyři intervaly *úrovně znečištění*. Klasifikace úrovně znečištění SO₂ pro standardní atmosféry je v tab. 3.

Hodnoty oxidu siřičitého se stanovují depozičními (P_d) a objemovými (P_c) metodami. Depoziční rychlost a koncentrace SO₂ se zjišťuje z měření, prováděných po dobu alespoň jednoho roku. Pro účely klasifikace korozní agresivity jsou takto stanovené hodnoty rovnocenné.

Koncentrace oxidu siřičitého v klasifikačním intervalu P₀ se považuje za koncentraci pozadí, které není významné z hlediska korozního napadení. Znečištění nad klasifikační interval P₃ je považováno za extrémní znečištění.

Depoziční rychlost SO ₂ (mg.m.d ⁻¹)	Koncentrace SO ₂ (μg.m ³)	Klasifikovaný interval úrovně znečištění
$P_d \leq 10$	$P_c \leq 12$	P ₀
$10 < P_d \leq 35$	$12 < P_c \leq 40$	P ₁
$35 < P_d \leq 80$	$40 < P_c \leq 90$	P ₂
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P ₃

Tab.3 Klasifikace úrovně znečištění oxidem siřičitým [N2]

V tab.4 je klasifikace znečištění Cl^- . Vztahuje se k vnějším atmosférám, které jsou znečištěny vzdušnou salinitou v přímořských oblastech. Depoziční rychlost chloridů může být měřena různými postupy. Obvykle se depoziční rychlost chloridů vyjadřuje jako roční průměr. Výsledky krátkodobých měření jsou totiž velmi závislé na počasí. Tak jako pro oxid siřičitý klasifikovaný interval S_0 představuje koncentraci pozadí.

Depoziční rychlost Cl^- ($mg.m.d^{-1}$)	Klasifikovaný interval úrovně znečištění
$S \leq 3$	S_0
$3 < S \leq 60$	S_1
$60 < S \leq 300$	S_2
$300 < S \leq 1500$	S_3

Tab.4 Klasifikace úrovně znečištění vzdušnou salinitou [N2]

Korozní agresivita prostředí se hodnotí v pěti stupních, vyjadřujících korozní agresivitu prostředí (tab.5).

Stupeň korozní agresivity	Charakter korozní agresivity
C1	velmi nízká
C2	nízká
C3	střední
C4	vysoká
C5	velmi vysoká

Tab.5 Stupeň korozní agresivity [N2]

V tab.6 je jednotlivým stupňům korozní agresivity přiřazena pravděpodobná *korozní rychlost* standardních vzorků.

Kov	Rychlost koroze po prvním roce expozice									
	$(g.m^2.a^{-1})$					$(\mu m.a^{-1})$				
	Stupeň korozní agresivity					Stupeň korozní agresivity				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
Zn	$\leq 0,7$	≤ 5	≤ 15	≤ 30	≤ 60	$\leq 0,1$	$\leq 0,7$	$\leq 2,1$	$\leq 4,2$	$\leq 8,4$
Cu	$\leq 0,9$	≤ 5	≤ 12	≤ 25	≤ 50	$\leq 0,1$	$\leq 0,6$	$\leq 1,5$	$\leq 2,8$	$\leq 5,6$
Al	*	$\leq 0,6$	≤ 2	≤ 5	≤ 10	-	-	-	-	-

Tab.6 Rychlost koroze pro jednotlivé stupně korozní agresivity [N2]

V tabulce jsou uvedeny odvozené stupně korozní agresivity, vycházející z doby o vlhčení a úrovně znečištění, pro Zn, Al a Cu. Korozní rychlosti jsou stanoveny pro rovnoměrnou korozi. U hliníku v prostředí klasifikovaném stupněm C1 je obvykle zjištěná koroze zanedbatelná. Z principiálních důvodů nemůže být lokální koroze, pozorovaná u hliníku po prvním roce expozice, vyhodnocována jako korozní poškození.

Rozvoj elektroniky vytváří nutnost klasifikovat i korozní agresivitu *vnitřních prostředí*. Klasifikační systém korozní agresivity vnitřních prostředí musí respektovat určité odlišnosti tohoto prostředí. Jsou to jak nízké hodnoty koroze, tak odlišný časový průběh koroze ve vnitřním prostředí. Zásadní význam má i to, že se na korozním procesu nepodílí jako stimulator pouze klasický oxid siřičitý, ale i jiné polutanty v ovzduší. Pro hodnocení korozní agresivity vnitřních prostředí se v praxi využívá klasifikační systém ISO a ANSI/ISA [N12]. Klasifikační systém ISA specifikuje tři typy znečištění vnitřních prostředí (kapalná, pevná a plynná).

Jednotlivé skupiny znečištění jsou dále členěny podle typu znečišťujících látek, které jsou posuzovány ve třídách – stupních, podle stoupající úrovně výskytu znečišťující látky. Pro plynná znečištění je klasifikace korozní agresivity vnitřních prostředí založena na korozní rychlosti vysoce čisté mědi. Měď je použita proto, že je nejběžnější a nejčastěji používaný kov v elektrotechnice. V některých případech je měď nahrazována stříbrem (prostředí se sulfony) nebo ocelí či zinkem (prostředí skladů). Klasifikované úrovně plynných prostředí podle tohoto postupu jsou uvedeny v tab.7.

Úroveň znečištění			
G1	G2	G3	GX
nízká	střední	vysoká	velmi vysoká
<30	< 100	<200	≥200
Korozní přírůstek Cu za 30 dní (nm)			

Tab.7 Klasifikace korozní agresivity vnitřních prostředí [N12]

Korozní působení vybraných polutantů vnitřního prostředí, vztahené k této klasifikaci, je v tab.8. Údaje v tabulce jsou rozděleny do dvou částí. Horní část tabulky obsahuje plyny se synergickými účinky, spodní bez synergických účinků.

Polutant	Úroveň znečištění			
	G1	G2	G3	GX
H ₂ S	<3	<10	<50	>50
SO ₂ , SO _x	<10	<100	<300	>300
Cl ₂	<1	<2	<10	>10
NO _x	<50	< 125	< 1250	> 1250
HF	<1	<2	<10	>10
NH ₃	<500	< 10 000	< 25 000	> 25 000
O ₃	<2	<25	<100	>100
Koncentrace plynu (ppb)				

Tab. 8 Vliv vybraných polutantů na úroveň korozního znečištění vnitřního prostředí

Vliv znečištění vnitřního prostředí na spolehlivost elektronických zařízení, vztahený ke korozní rychlosti na mědi v jednotlivých úrovních znečištění atmosféry, je v tab.9.

Úroveň znečištění	Předpokládaná spolehlivost elektronického zařízení
G1	korozní proces nemá vliv zásadní vliv na spolehlivost el. zařízení
G2	korozní proces může být faktorem ovlivňujícím spolehlivost el. zařízení
G3	s vysokou pravděpodobností dojde ke snížení spolehlivosti el. zařízení, doporučuje se speciální provedení nebo balení zařízení
GX	zařízení musí být do tohoto prostředí přizpůsobeno (průmyslové provedení)

Tab. 9 Spolehlivost elektronického zařízení, vztažená k úrovni korozní agresivity vnitřního prostředí

1.1.1.3 Umístění výrobku

Úroveň působení klimatických faktorů a znečištění atmosféry na výrobky ovlivňuje jeho *umístění*. Obecně lze umístění výrobku rozdělit do čtyř kategorií (tab.10).

Kategorie umístění výrobků
Umístění na vnější atmosféře (působení souboru klimatických činitelů charakteristických pro danou makroklimatickou oblast).
Umístění pod přístřeškem nebo v místnostech (objektech), kde se výkyvy teploty a vlhkosti vzduchu liší jen nepatrně od výkyvů na otevřeném prostranství, a kde je poměrně volný přístup vnějšího ovzduší. Neuplatňuje se však přímé působení slunečního záření a atmosférických srážek.
Umístění v uzavřených místnostech (objektech) s přirozeným větráním bez uměle regulovaných klimatických podmínek nebo s delšími přestávkami v regulaci, kde výkyvy teploty a vlhkosti vzduchu i vliv písku a prachu jsou podstatně menší než na otevřeném prostranství. Neuplatňuje se působení atmosférických srážek a přímého slunečního záření. Podstatně je snížen vliv větru a snížen nebo zamezen je vliv rozptýleného slunečního záření a kondenzace vlhkosti.
Umístění v místnostech (objektech) s uměle regulovanými klimatickými podmínkami. Je vyloučeno působení přímého slunečního záření, atmosférických srážek, větru i vliv písku a prachu vnějšího ovzduší. Podstatně je omezeno působení rozptýleného slunečního záření a kondenzace vlhkosti.

Tab.10 Charakterizace umístění výrobku²

Toto rozdělení je velmi hrubé. V rámci jedné kategorie i mezi jednotlivými kategoriemi umístění se mohou v jednotlivých případech provozní podmínky značně lišit. Tak např. v tropických vlhkých oblastech mívají uzavřené místnosti bez regulovaných klimatických podmínek často rozsáhlé přirozené větrání. Podmínky v těchto objektech splňují spíše kritéria pro kategorii umístění pod přístřeškem. Naopak u zařízení umístěných na vnější atmosféře bývá řada výrobků nebo jejich část kryta nebo uzavřena před působením vnějších vlivů. Při umístění výrobku v objektech s uměle regulovanými klimatickými podmínkami ztrácí vliv makroklimatické oblasti praktický význam.

² Charakterizace umístění výrobku vychází ze zrušené ČSN 03 8805 „Druhy klimatických provedení technických výrobků“

Při volbě druhu provedení a ochrany výrobku v závislosti na různých soustavách klasifikace agresivity atmosféry, přihlížejících i ke kategoriím umístění výrobku, je proto nutné vždy zvážit skutečné možnosti uplatnění vnějších vlivů na výrobek.

1.1.1.4 Provedení výrobku a jeho provozní podmínky

Vedle provozních podmínek má zásadní vliv na znehodnocování výrobku jeho konstrukční návrh a *technologické provedení*. Svou důležitost má např. i hmotnost jednotlivých dílů. Tak např. na povrchu kovových dílů o velké hmotnosti a tím i velké tepelné kapacitě je při malých změnách teploty menší pravděpodobnost jeho ovlhčení než u tenkých plechů. Naopak povrch plechu potřebuje k vysušení méně tepla než povrch odlitku.

Tvar a *konstrukční uspořádání* výrobku rozhodují o tom, zda se některé kombinace materiálů nebudou navzájem nepříznivě ovlivňovat, i o tom, zda se v některých jeho prostorách nebude hromadit vlhkost. Provozní podmínky výrobku mohou ovlivnit způsob jeho ochrany proti klimatickým vlivům a to přímo nebo nepřímo. Přímou se může uplatnit především teplota, na niž se výrobek nebo jeho části zahřejí provozním zatížením, mechanické namáhání, jemuž jsou jednotlivé části výrobku za provozu vystaveny, agresivní látky, vznikající jeho provozem a konečně režim využívání výrobku, tj. zda jde o provoz nepřetržitý, pravidelně proměnný či nepravidelný. Nepřímo se uplatňuje zejména časový režim provozu výrobku tím, že na něm závisí možnost a četnost provádění jeho drobné i generální údržby.

Pro volbu provedení a ochrany výrobku z hlediska odolnosti proti klimatickým a korozním vlivům je proto nutné specifikovat co nejpřesněji i všechny jeho provozní podmínky. Kde je to možné, volit nebo předepsat takový pracovní režim, který by působení klimatických a korozních vlivům omezoval.

1.2 Vliv činitelů prostředí na základní typy materiálů

Účinek činitelů klimatu na materiály a výrobky se projevuje:

- *trvalými změnami* v povrchové a vnitřní struktuře materiálů,
- *přechodnými (vratnými) změnami* fyzikálních stavů materiálů,
- zvýšeným mechanickým statickým a dynamickým namáháním výrobku.

Trvalé změny na povrchu i ve vnitřní struktuře materiálů mají za následek vzhledové i funkční znehodnocení. Nejvýznamnějším představitelem této skupiny degradačních procesů je atmosférická koroze kovových materiálů a povlaků a atmosférické stárnutí a degradace organických materiálů a povlaků. Přechodnými změnami fyzikálních stavů organických materiálů (např. navlhání izolantů) jsou ovlivňovány především funkční vlastnosti výrobků. Zvýšené mechanické namáhání při překročení předpokládaných mezních hodnot může vést k destrukci výrobků nebo k fyzikálním změnám stavu povrchu materiálů.

Působení atmosféry na materiály a výrobky je proces různorodý. Výsledný účinek závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech atmosféry, na druhu materiálu, na konstrukci výrobku a ve většině případů i na provozních podmínkách. Z toho vyplývá, že nelze označit určitý typ atmosféry obecně za agresivní a jiný za neagresivní, stejně jako nelze o určitém materiálu hovořit obecně jako o odolném a o jiném jako neodolném.

Tyto pojmy nabývají konkrétnosti až pro přesně specifikovanou dvojici atmosféra-materiál. Ale i v tomto případě je nutné brát v úvahu relativnost pojmů "odolný" či "neodolný". Tak

např. jeden a týž rozsah a forma povrchového napadání kovu může představovat zcela zanedbatelné znehodnocení materiálu tam, kde je rozhodující zachování mechanické pevnosti. Naopak může ale znamenat jeho úplné funkční znehodnocení, když záleží na přechodovém elektrickém odporu povrchu, na rozebíratelnosti spoje, na jeho vzhledu, na stálosti rozměrů apod. Některé vratné změny organických materiálů, např. navlhavost, nemusí bránit jeho použití pro zhotovení některých funkčně nedůležitých detailů konstrukce. Nemůže být ale použit jako elektroizolační nebo konstrukční materiál v podmínkách se zvýšenou vlhkostí.

1.2.1 Kovy a kovové materiály

Hlavním znehodnocujícím dějem při působení atmosféry na kovové materiály a povlaky je *koroze*. Při ní přecházejí ionty kovu z krystalové mřížky do korozního prostředí, nebo zůstávají ve formě korozních zplodin na povrchu materiálu. Vedle změny stavu povrchu se korozní napadení projevuje úbytkem hmotnosti a rozměrovými změnami. Je-li korozí napadena pouze některá ze složek kovového materiálu, např. při mezikrystalové korozi, dochází ke změnám ve struktuře materiálu.

Výsledkem je v každém případě ztráta mechanických vlastností, a někdy i některých dalších, často funkčně důležitých vlastností, jako je změna vzhledu či hladkosti povrchu, jeho elektrické vodivosti apod.

1.2.1.1 Vliv vlhkosti

V prostředí se zvýšenou relativní vlhkostí vzduch je dominantním degradačním procesem kovových materiálů *atmosférická koroze*. Atmosférická koroze je elektrochemický proces, který je možný pouze za přítomnosti elektrolytu. Základní podmínkou pro průběh atmosférické koroze materiálu je ovlhčení jeho povrchu. Další důležitou podmínkou atmosférické koroze kovu je znečištění atmosféry. Rozpustné složky znečištění přecházejí do vodního filmu na povrchu kovu a zvyšují jeho vodivost, popř. samy často s kovem reagují. Stejně se uplatňuje i znečištění povrchu pevnými úsadami, prachem apod., pokud jejich složky jsou rozpustné ve vodě. Stejně se uplatňují i některé produkty metabolismu mikrobiálních pochodů při výskytu mikroorganismů na kovovém povrchu.

K ovlhčení povrchu dochází atmosférickými srážkami (déšť, sníh), rosou, mlhou a především kondenzací vzdušné vlhkosti na povrchu výrobků. Kondenzace vlhkosti je nejčastějším původcem ovlhčení povrchu výrobků. Vzduch může při každé teplotě obsahovat jen určité množství vodní páry (stav nasycení). Při jeho překročení nebo při poklesu teploty přechází přebytečná vodní pára do kondenzátu, který se usazuje na povrchu.

K ovlhčení dochází nejen při změnách teploty nebo při styku studenějšího kovového povrchu s vlhkým vzduchem o vyšší teplotě, ale i při stejných teplotách obou těchto fází. Je to způsobeno stavem povrchu kovu. Drsnost povrchu, různé trhlinky a mikropóry mohou vyvolat místní zvýšení obsahu vlhkosti a tím případně i její kondenzaci (tzv. *kapilární kondenzace*). Různé vrstvy na povrchu kovového materiálu (úsady, korozní zplodiny) mohou mít rovněž schopnost absorbovat vzdušnou vlhkost. Zkušenosti ukazují, že s možností koroze je nutné počítat již při relativní vlhkosti vzduchu vyšší než 70 % (tzv. *kritická vlhkost*). Ve znečištěném prostředí může korozní proces probíhat i při nižší relativní vlhkosti vzduchu.

Z dalších původců ovlhčení povrchu přichází v úvahu déšť. Ten ale nemusí být urychlujícím faktorem koroze. Především ve vlhčích klimatech s vysokou pravděpodobností ovlhčení

povrchu kondenzací (vlhké tropy) ztrácí déšť svůj význam pro přísun vlhkosti k povrchu. Naopak časté deště mohou vést k odstraňování nečistot s povrchu kovu a tím i ke zpomalování rychlosti koroze.

Větším nebezpečím než déšť může být sníh. Pokud teplota vzduchu neklesne natolik, aby veškerý kapalný elektrolyt na povrchu kovu zmrzl, zůstane pod sněhovou vrstvou kapalným elektrolyt, který se může stát vlivem nečistot absorbovaných sněhem ze vzduchu značně agresivní.

Z hlediska atmosférické koroze je nebezpečným původcem ovlhčení povrchu rosa a mlha, především tím, že mají jen nepatrnou schopnost odstraňovat z povrchu nečistoty. Ty se potom mohou v době výskytu rosy nebo mlhy plně podílet na rozvoji atmosférické koroze.

1.2.1.2 Vliv znečištění

Z plynných složek atmosféry, které přecházejí do elektrolytu, připadá v úvahu nejčastěji:

Oxid siřičitý je nejběžnější korozně významnou složkou atmosféry. Jeho hlavním původcem je spalování paliv s obsahem síry. Jeho koncentrace v ovzduší výrazně stoupá od relativně čistých venkovských prostředí až po průmyslové oblasti, kde může dosahovat až desítek $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Oxid uhličitý je sice rovněž běžnou složkou atmosféry jako produkt spalování nebo některých mikrobiálních pochodů, avšak jeho vliv na korozi kovů je zanedbatelný. Uplatňuje se nanejvýše nepřímo ovlivněním složení vznikajících korozních zplodin neželezných kovů a tím i některých vlastností povrchu jako vzhledu a přechodového elektrického odporu.

Sirovodík z mikrobiálních procesů nebo některých exhalátů se v atmosféře vyskytuje obvykle pouze v nepatrných koncentracích pod $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. I když nezpůsobuje významnější hmotnostní úbytky kovů, přesto jeho účinek může vést k významným funkčním změnám povrchu kovu, zejména u stříbra, niklu a mědi.

Oxidy dusíku se vyskytují v běžné atmosféře pouze v tak nepatrných koncentracích, že se na korozi neuplatňují. Vlivem automobilového provozu, v okolí chemických továren, zemědělských objektů nebo jako výsledek oxidace vzdušného dusíku při bouřce se však koncentrace NO_x zvyšuje až k desetínám $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, což výrazně podporuje korozi většiny kovů.

Čpavek není běžným znečištěním atmosféry. Při jeho místním výskytu, např. v chemických nebo zemědělských provozech, se na kovy korozně významně neuplatňuje. Výjimkou je mosaz, u níž čpavek podporuje koroznímu praskání.

Dalšími plynnými nečistotami vzduchu mohou být nejrůznější exhaláty z chemické výroby. V praxi je to nejčastěji agresivní chlor. Agresivně působí i některé plynné složky, uvolňující se z plastických hmot či dřeva. Mezi nejvýznamnější z nich patří formaldehyd a nižší organické kyseliny.

Důležitým, korozně významným znečištěním atmosféry, je aerosol mořské vody, projevující se při námořní přepravě a v blízkosti moře. Jeho agresivní složkou jsou chloridové ionty, které urychlují korozi všech technických kovů.

Rovněž prach a jiné pevné nečistoty, usazující se na povrchu výrobků, mohou ovlivnit korozi kovů. Jejich vliv může být dán buď vytvářením podmínek pro ovlhčení povrchu kovu, nebo agresivními vlastnostmi jejich vyluhovatelných podílů. Kromě toho může jemný prach, obvykle ve spojení s větrem, zanášet výrobek a způsobovat zadření některých funkčních prvků.

1.2.1.3 Vliv teploty

Vliv teploty pro rozvoj korozního napadení není jednoznačný. Při nízkých teplotách neexistuje na povrchu kovů kapalný elektrolyt a při extrémně vysokých teplotách suchých tropů zase nedochází obvykle ke kondenzaci vlhkosti. Za normálních podmínek existence vlhkosti na povrchu kovu se může teplota tedy uplatnit při zrychlováním korozních pochodů.

V praxi dochází velmi často při vyšších teplotách k menšímu znečištění atmosféry. Tak např. v podmínkách ČR v chladnějších měsících, v nichž topná sezóna vede ke vzrůstu znečištění atmosféry a kdy je vyšší i relativní vlhkost vzduchu, bývá zpravidla korozní rychlost vyšší než v letních měsících s relativně čistší atmosférou. Z těchto důvodů není teplota vzduchu významným činitelem pro korozi kovů. Větší význam má spíše kolísání teploty vyvolávající kondenzaci vlhkosti.

1.2.1.4 Další vlivy

Sluneční záření má na korozi kovů pouze nepřímý vliv. Sluneční záření totiž výrazně mění teplotu povrchu kovu. Proto bývá korozní napadení povrchů vysušených přímým slunečním zářením nižší, než napadení na plochách nepřístupných záření.

Větr může korozi kovů ovlivňovat rovněž jen nepřímo. Jednak příznivě, urychleným vysušením povrchu, a jednak nepříznivě urychlením přísunu nečistot či vlhkosti k povrchu. I zde je důležitá orientace jednotlivých ploch výrobku ke směru větru, stejně jako i vzájemná orientace výrobku a zdroje znečištění z hlediska převládajícího směru větru.

Mikroorganismy se přímo při atmosférické korozi kovů neuplatňují, nemají-li na povrchu podmínky pro svou existenci. Když však dojde ke znečištění povrchu živinami, mohou mikroorganismy korozi kovů ovlivnit obdobně jako jiné nečistoty, tj. buď udržováním vlhkosti na povrchu nebo, některými agresivními látkami svého metabolismu. Celkově však nepatří ke korozně významným faktorům koroze kovů.

Mechanické namáhání může urychlit korozi např. stíráním vrstvy korozních zplodin, tvorbou mikrotrhlinek na povrchu kovu apod. Kombinace korozního a mechanického namáhání může kromě toho za určitých podmínek vyvolat i zvláštní druhy znehodnocení, např. korozní praskání (u dynamicky namáhaných mosazných součástí ve znečištěné atmosféře) apod.

1.2.2 Organické materiály a izolanty

Mechanismus znehodnocování organických materiálů (přírodních i syntetických), vyvolaný činitelem provozního prostředí, je velmi různorodý. Závisí na intenzitě degradačního působení prostředí a vnitřní struktuře materiálu. Některé z degradačních pochodů mohou mít vratný charakter a po ukončení působení činitele se vlastnosti materiálu vrátí do původního stavu. Jiné procesy vedou k trvalým, nevratným změnám materiálu. Výsledkem je změna mechanických hodnot materiálů, ale i řada dalších změn (rozměru, vzhledu, barvy, stavu

povrchu, dielektrických vlastností aj.), které mohou být pro použití materiálu v jednotlivých případech funkčně významné.

Za nejdůležitějšími degradačními procesy v organických materiálech se pokládá:

- sorpce,
- rozpouštění,
- bobtnání,
- tepelná destrukce,
- fotochemická degradace,
- chemická reakce,
- mikrobiální procesy.

1.2.2.1. Vliv vlhkosti

Vlhkost vzduchu je důležitým činitelem pro znehodnocování všech materiálů, do nichž může vodní pára pronikat difúzí³. Pokud přitom nedojde k reakci difundující látky se složkami materiálu nebo k porušení jeho struktury, dochází pouze k vratným změnám materiálu. Vlhkost zhoršuje ty funkční vlastnosti materiálu, které jsou závislé na jejím obsahu (např. dielektrické vlastnosti). Významně ovlivňuje i další degradační procesy jako např. chemické reakce, vyluhování složek materiálu a mikrobiální napadení. Vlhkost významně ovlivňuje *bobtnání* organických materiálů. Během tohoto procesu dochází k narušování mezimolekulárních sil mezi polymerními řetězci. Tím se zvětšuje hmotnost, rozměry materiálu a zhoršují se fyzikálně mechanické vlastnosti. Proces je vratný, může však vést k nevratnému znehodnocení.

Přítomnost vodní fáze na povrchu organického materiálu způsobuje především povrchové vyluhování rozpustných složek a podporuje difúzi vlhkosti do materiálu. V tomto směru mají pro znehodnocování organických materiálů význam i atmosférické srážky, zejména déšť a orosení. Vliv sněhu na vlastnosti organických materiálů se může uplatnit pouze omezeně při teplotách kolem 0 °C, kdy ještě může na povrchu existovat i kapalná fáze.

1.2.2.2 Vliv znečištěné atmosféry

Pro znehodnocování organických materiálů se většinou znečištění atmosféry považuje za málo významné. Plynné nečistoty z atmosféry, které s vodou tvoří kyselé roztoky, mohou za určitých podmínek rozrušovat některé organické materiály. Nečistoty z atmosféry, ať již tuhé nebo plynné, mohou kromě toho na vlhkém povrchu způsobovat vzrůst povrchové vodivosti materiálu. Zvláštní význam má přítomnost ozónu ve vzduchu. U některých organických materiálů, především pryží, může ozón vyvolávat *ozónové praskání*.

1.2.2.3 Vliv větru

Vítr nemá na znehodnocování organických materiálů zásadní význam, pokud se neuplatní jeho mechanický účinek. Částečně může vítr urychlovat únik některých složek materiálu těkáním nebo naopak působit příznivě vysušováním povrchu.

³ Obecně do materiálu může difundovat nejen vodní pára, ale i jiné plynné složky atmosféry. Difundovat však mohou i některé složky organických materiálů k povrchu, odkud pak mohou ovlivňovat okolní prostředí.

1.2.2.4 Vliv teploty

Teplota vzduchu patří k významným činitelům atmosférického znehodnocování organických materiálů. Vysoká teplota má za následek změny v chemickém složení i struktuře materiálu v důsledku štěpení polymerů. Tepelná destrukce je obvykle spojena i s oxidačním účinkem vzdušného kyslíku. Ve vlhkých atmosférách podporuje difúzi vlhkosti a urychluje všechny reakce probíhající v materiálu, z nichž některé jsou vyvolány teprve vyšší teplotou.

Teplota je spolu s vlhkostí nezbytnou podmínkou pro rozvoj mikrobiální koroze. Způsobuje rozměrové změny materiálu, které při rychlých změnách teploty mohou vést k mechanickému poškození. Nízké teploty vyvolávají křehnutí některých organických materiálů. Stoupající teplota se může příznivě projevit vysoušením navlhklých materiálů.

Teplota uvolňovaná při práci stroje, zejména ztrátové teplo u elektrotechnických zařízení, je jednou z hlavních příčin tepelné destrukce izolačních materiálů.

1.2.2.5 Vliv slunečního záření

Sluneční záření je jedním z rozhodujících činitelů atmosférického stárnutí organických materiálů. Zvláště výrazně se projevuje v suchých tropech, ale i v řadě jiných lokalit s intenzivním slunečním zářením. Vyvolává řadu fotochemických reakcí a svou tepelnou složkou se uplatňuje obdobně jako teplota, která je vyvolána ultrafialovou složkou slunečního záření a má za následek podobné změny jako tepelná destrukce (změna barvy, lesku, tvorba trhlinek apod.).

1.2.3.6 Vliv mikroorganismů

Napadení organických materiálů plísněmi je jednou z častých a nebezpečných forem znehodnocování organických materiálů nejen ve vlhkých tropech, ale ve všech vlhkých prostorách. Vedle přímého rozrušování materiálu nebo jeho některých složek působí plíseň škodlivě i nepřímo tím, že její kolonie udržují na povrchu materiálu vlhkost a někdy i produkty svého metabolismu, které mohou s materiálem reagovat. Většina přírodních organických materiálů, stejně jako některé pomocné složky syntetických materiálů (změkčovadla, plnidla), jsou mikroorganismy využívány jako zdroj výživy. Metabolické procesy mikroorganismů jsou příčinou *mikrobiální koroze*, která má obdobný charakter jako koroze atmosférická.

1.2.2.7 Ostatní vlivy

Většina polymerních materiálů může být znehodnocena i makroorganismy (hmyzem, termity, hlodavci aj.), jimž slouží za potravu, úkryt nebo jsou pro ně překážkou, kterou proto ničí.

Mechanické namáhání může svou energií vyvolat některé změny ve struktuře polymerního materiálu nebo urychlit tyto změny vyvolané jinými činiteli.

1.3 Způsoby ochrany výrobků proti klimatickým a korozním vlivům

Pro zajištění odolnosti výrobků proti klimatickým a korozním vlivům má konstruktér a projektant k dispozici tyto základní možnosti, souhrnně označované jako "systémy ochrany":

- volbu odolného materiálu,
- konstrukční řešení,
- dodatečnou úpravu materiálu nebo jeho povrchu,
- úpravu mikroklimatu výrobku,
- některou kombinaci z uvedených možností řešení ochrany.

Použití dostatečně odolného materiálu bez nutnosti dalších opatření je sice nejjednodušším řešením, často však naráží na jiná hlediska, která je při volbě materiálu nutno uvažovat. Jsou to především:

- mechanické a další funkčně důležité vlastnosti materiálu,
- dostupnost materiálu,
- tvarový a rozměrový sortiment materiálu v běžné nabídce na trhu,
- zpracovatelnost materiálu,
- cena materiálu (náklady na jeho zpracování).

Proto je třeba zahrnout do úvah i ty varianty, kde sice zvolený materiál sám potřebnou odolnost nemá, ale kdy je možné požadovanou životnost a funkčně důležité parametry zajistit některým dodatečným opatřením (povrchovou úpravou, impregnací, inhibitory apod.).

Konstrukční řešení, stejně jako sled montážních prací při kompletaci výrobku, často rozhodují i o použitelnosti některých dodatečných ochranných opatření, např. o proveditelnosti povrchové úpravy. Je-li uvažováno o jejím použití, musí proto konstruktér ve spolupráci s technologem přizpůsobit podle možností konstrukční řešení požadavkům příslušné technologie.

Dodatečnými úpravami materiálu nebo jeho povrchu jsou myšleny jednak povrchové úpravy kovových dílů, jednak impregnace elektroizolačních materiálů. Povrchové úpravy mají svým širokým sortimentem a možností diferenciací provedení předpoklady pro zajištění protikorozní ochrany za nejrůznějších podmínek. Často ovlivňují i estetickou stránku výrobku. Impregnace elektroizolačních materiálů bývá nedílnou součástí jejich aplikace a slouží k dosažení předepsaného izolačního stavu. Impregnace umožňuje zvýšit kvalitu i těch materiálů, jejichž dielektrické vlastnosti nejsou vyhovující nebo dostatečně stálé, či zajistit dodatečně potřebný elektrický odpor konstrukčních uzlů nebo celých výrobků.

Úpravou mikroklimatu či kryptoklimatu lze snížit agresivitu prostředí dvojnásobem. V prvním případě se úpravou odstraňují z mikroklimatu složky vyvolávající znehodnocení výrobku. Nejjednodušším z těchto postupů je snížení relativní vlhkosti mikroklima pod kritickou, nebezpečnou hodnotu. To lze dosáhnout např. ohřevem vzduchu. K tomu často postačuje již teplota vznikající provozním zatížením elektrického stroje, parotěsným obalem ve spojení s látkou absorbující vodní páry (např. silikagel), nebo úplnou hermetizací obalu výrobku nebo krytu některého jeho uzlu. Hermetizace zamezuje přístup i jiných agresivních složek do kryptoklimatu a představuje tak účinnou a často jedinou možnost řešení ochrany, ovšem za předpokladu, že byla provedena v prostředí s neagresivní atmosférou.

Druhým způsobem snížení agresivity mikroklimatu je vkládání látek, omezujících korozi nebo jiné znehodnocení. Nejznámějším příkladem tohoto postupu je použití inhibitorů koroze v obalových materiálech. Jde o látky nebo směsi látek, jejichž roztokem je impregnován obalový materiál a které uvolňují do kryptoklimatu obalu svou účinnou plynou složku. Ta se adsorbuje na povrchu kovu a vytváří na něm monomolekulární ochrannou vrstvu. Inhibitory koroze je nutné volit s ohledem na použitý kovový materiál. Existují látky, které mají univerzálnější inhibiční účinnost nebo ztěžující mikrobiální napadení organického materiálu. Některé z takto upravených obalových materiálů však chrání výrobek pouze v místech přímého kontaktu obalu s povrchem materiálu.

K protikorozní úpravě mikroklimatu patří i použití inertní atmosféry, kterou se vyplňují některé uzavřené prostory, a to především jako přechodné ochranné opatření v případech, kde nelze použít konzervace.

Pro úplnost přehledu možných způsobů řešení ochrany je třeba uvést ještě tzv. elektrochemickou ochranu. Spočívá v potlačení koroze kovů stejnsměrným elektrickým proudem, zavedeným záměrně do systému a protékajícím mezi elektrolytem a povrchem kovu takovým způsobem, aby výslednými účinky na kovovém povrchu byly ztíženy podmínky pro průběh elektrochemického korozního procesu. Hlavní oblastí využití tohoto způsobu je ochrana ocelových výrobků ve vodě, agresivních roztocích a v půdě. Proti atmosférické korozi je možno o tomto ochranném mechanismu hovořit pouze v případě ochrany kovových výrobků kovovým povlakem, který je elektrochemicky méně ušlechtilý než podkladový materiál (např. zinkový povlak na oceli). Elektrický proud, který v pórech povlaku po ovlhčení povrchu protéká v takto vzniklém galvanickém článku, chrání ocel i při pórovitosti či menším poškození povlaku (tzv. katodická ochrana). Proto jsou u těchto povlaků nižší požadavky na jejich nepórovitost než u povlaků, u nichž se tento ochranný mechanismus nemůže uplatnit (ušlechtilější materiál povlaku, než základní materiál, např. niklový povlak na oceli).

Základní literatura k problematice vlivu prostředí na technické výrobky [2], [3], [16], [17].

II. Volba materiálů

2.1 Kovové materiály

Volba kovového materiálu nebo povlaku by měla vycházet z korozní agresivity prostředí. O použitelnosti kovového materiálu je nutné rozhodnout s ohledem na konkrétní výrobek, nebo jeho díl a s přihlédnutím na podmínky provozu. Při tomto rozhodování se bere v úvahu, jak se projeví korozní napadení kovového materiálu. Převážně se jedná o:

- hmotnostní úbytek *rovnoměrnou korozi* za určitou dobu,
- výskyt nerovnoměrného *korozního napadení*,
- vznik korozních zplodin na povrchu kovu a jejich charakter,
- možnost povrchové úpravy kovového materiálu vedoucí ke snížení koroze.

2.1.1 Cín

Cín a slitina cín-olovo se velmi rychle pokrývají vrstvou oxidů (SnO , SnO_2). Tyto vrstvy mají dobrou korozní odolnost a jsou stálé. Znečištění chlórem a chloridy napadá oxidové vrstvy a urychluje korozi základního kovu. Fáze olova v povlacích slitin cín-olovo je citlivá na zkondenzovanou vlhkost a ve velmi vlhkých prostředích dochází na těchto povlacích k rychlé korozi.

Dominantním degradačním mechanismem povlaků s cínem nebo cín-olovo je *fretting*⁴. Cín a cín-olovo by neměl být používán v kombinacích s ušlechtilými kovy, jako je zlato nebo stříbro a s tvrdými kovy, jako je např. nikl nebo tvrdé zlato. Tyto kombinace materiálů mohou vyvolat bimetalickou korozi nebo zvýšit nebezpečí frettingové koroze.

Užití galvanických cínových povlaků přináší riziko tvorby *whiskerů*. K tomu dochází u povlaků cínu přímo na mědi nebo slitinách mědi (speciálně mosazi). Lesklý cín, vzhledem k vyššímu vnitřnímu pnutí, je více náchylný ke vzniku whiskerů, než matný cín. Nebezpečí může být sníženo přetavením cínu, legování olovem nebo použitím niklu jako mezivrstvy. Kontakty s povlakem cínu nebo slitiny cín-olovo by neměly být vystaveny zvýšeným teplotám, neboť měď ze substrátu v těchto podmínkách difunduje do povlaku a skrz povlak se dostává na povrch, kde oxiduje. Také nikl není při vyšších teplotách vhodným bariérovým materiálem.

Korozní rozrušení cínu může být někdy zaměňováno s tzv. cínovým morem, jevem, při kterém dochází k přeměně čtverečné krystalické soustavy v soustavu kubickou. Nastává při poklesu teploty pod 13,2 °C.

Cín je dnes již pro svou deficitnost používán k ochraně proti atmosférické korozi pouze výjimečně. Aplikuje se v případech, kde je třeba využít některých jeho funkčních předností (pájitelnost, snazší rozebíratelnost pocínovaných závitových spojů díky tuhým a přilnavým korozním zplodinám). Z hlediska korozní odolnosti nemá cínování výraznější výhody proti zinkování. Nemá vysloveně elektronegativnější charakter proti pokoveným materiálům, takže cínové povlaky na oceli musí být nepórovité a tlustší než povlaky zinkové.

⁴ Opotřeбенí způsobené vzájemnou oscilací povrchů (vibrační koroze)

2.1.2 Hliník a slitiny hliníku

Čistý hliník se uplatňuje v elektrotechnice hlavně jako elektrovodný materiál. Ve strojírenství se používají slitiny hliníku jako konstrukční materiál. Široká paleta možných slitin hliníku a různý způsob jejich tepelného či mechanického zpracování dovoluje volit podle potřeby materiály nejrůznějších mechanických vlastností. Při zachování správných technologických postupů se podstatně nemění velmi dobrá korozní odolnost hliníku a jeho slitiny. Oxidová vrstvička, která je hlavním nositelem této vlastnosti, je elektricky nevodivá. Plochy, u nichž je požadován především nízký přechodový elektrický odpor, musí být proto opatřeny vodivým povlakem (většinou pokovením Cu-Ni). Z elektrotechnického hlediska je nevýhodou hliníku jeho obtížné pájení. Při pájení se musí používat zvláštní postupy.

Hliník patří mezi málo ušlechtilé kovy, ale v řadě prostředí se uplatňuje jeho schopnost přecházet rychle do pasivního stavu. Je to dáno velkou chemickou reakční schopností hliníku vytvořit na svém povrchu stabilní oxidové vrstvičky. V suchém prostředí dochází na povrchu hliníku v průběhu několika minut k vytvoření vrstvičky Al_2O_3 o tloušťce 0,1 nm. Po několika dnech naroste oxidová vrstvička do tloušťky 3 nm. Potom se zvyšuje už jen velmi pomalu. O vlastnostech oxidové ochranné vrstvy rozhoduje okolní atmosféra. Za přítomnosti vzdušné vlhkosti a ostatních atmosférických faktorů je tloušťka pasivní vrstvičky řádově 1000 nm. V prostředí s chloridovými ionty dochází k lokálnímu koroznímu napadení (*pittingu*). Anodickou oxidací hliníku (eloxováním) lze vytvořit vrstvičku Al_2O_3 o tloušťce do 20 μm .

Samotný hliník má silnou tendenci ke koroznímu praskání. Pokud je hliník používán v integrovaných obvodech, může vlivem penetrace vlhkosti pod pouzdro docházet vedle pittingové koroze i ke korozi elektrolytické, nebo je-li hliník spojen se zlatem i k bimetalické korozi. Korozní napadení je urychlováno přítomností chloridů či jiných agresivních složek atmosféry.

Korozní odolnost hliníku a jeho slitin v atmosférických podmínkách je většinou dostatečná a je dána vlastnostmi vždy přítomné oxidické vrstvy na jejich povrchu. Každý vliv, který vede k narušení této ochranné vrstvy nebo brání jejímu vzniku, je proto příčinou koroze hliníku. Nejčastějšími z těchto škodlivých vlivů jsou:

- nečistoty v materiálu nebo na jeho povrchu,
- úsady a nánosy na povrchu materiálu, které znemožňují rovnoměrný přístup kyslíku a tím tvorbu oxidické vrstvy,
- galvanický kontakt hliníkových materiálů s ušlechtilějšími kovovými materiály,
- náhodný postřik povrchu roztoky, jejichž složky narušují ochrannou vrstvu (např. kyselé nebo alkalické kapaliny, kyseliny obsahující chloridy, ionty mědi apod.).

Vrstva oxidu hlinitého má amfoterní charakter a není proto odolná proti působení silných kyselin a zásad. Závisí-li koroze pouze na hodnotě pH prostředí, jsou hliníkové materiály dobře odolné v rozmezí pH 4 až 9. Rovnoměrná koroze v atmosférických podmínkách neznamena většinou technicky významný problém. Ke katastrofické korozi hliníku může docházet pouze v atmosférách s alkalicky reagujícím prašným spadem (okolí cementáren a hutních provozů), kde je použití hliníku a jeho slitin nevhodné.

Mezi rychlostí rovnoměrné koroze jednotlivých slitin hliníku nejsou významnější rozdíly (v atmosféře jen výjimečně přesahuje hodnotu 1 $\mu\text{m}\cdot\text{rok}^{-1}$). Výjimkou jsou slitiny Al s mědí,

kteří vykazují 2 až 4 násobné vyšší korozní úbytky a jsou též méně vhodné pro použití v přímoří, než slitiny hliníku bez přítomnosti mědi.

Pro životnost výrobků z hliníku a jeho slitin má daleko větší význam některá z forem nerovnoměrné koroze. V atmosférických podmínkách to může být korozní napadení důlkové, mezikrystalové, transkrystalové, podpovrchové a exfoliační (vrstevové). Při nerovnoměrném napadení povrchu hliníkových materiálů se vedle vlastností materiálu a vnějšího prostředí uplatňuje i konstrukční uspořádání a umístění výrobku. Platí, že plochy dobře omývané atmosférickými srážkami a rychle vysušované slunečním zářením vykazují výrazně menší výskyt a rozsah nerovnoměrného napadení než plochy, s nichž nejsou srážkami odplavovány nečistoty nebo které zůstávají trvale vlhké.

Velmi nežádoucím napadením hliníku je důlkové korozní napadení. Přitom se jedná o nejrozšířenější typ místního napadení hliníkových materiálů. Hmotnostní úbytky jsou minimální a většina povrchu nevykazuje viditelné změny. Napadení ve formě důlků však postupuje velmi rychle do hloubky a při malé tloušťce materiálu může dojít i k perforaci. U nehomogenních materiálů a materiálů s vnitřním pnutím může původně důlkové korozní napadení přejít na jiný druh nerovnoměrné koroze. Maximální hloubka důlkového napadení bývá zhruba dvojnásobkem průměrné hloubky korozních důlků. Při působení všech činitelů atmosféry dosahuje maximální hloubka důlkového napadení, v závislosti na typu slitiny, za 20 let expozice 170 až 300 μm (Al 99,5). V atmosférách chemických provozů však může dosahovat až 1 mm za rok.

Skvrnité korozní napadení se u hliníkových materiálů projevuje ve formě nepravidelně rozmístěných skvrn, většinou odlišného plošného rozsahu. Pro vznik skvrn je rozhodující trvalý nebo dlouhodobý účinek vlhkosti na omezených plochách. V korozně agresivní atmosféře, nebo vlivem uvolňovaných složek z organických materiálů, může být hloubka napadení relativně značná. Jako příklad lze uvést nevhodné skladování na sebe ukládaných (a mnohdy prokládaných) plechů, nebo nevhodné konstrukční řešení výrobků (šterbiny apod.). Rozsah skvrnitého korozního napadení není většinou doprovázen poklesem mechanických vlastností, vždy však jde o hrubou estetickou závadu. Odstranění skvrn je velmi pracné.

K *mezikrystalovému koroznímu napadení* jsou náchylné zejména slitiny AlCu, AlCuMg, AlZnMg, AlZnMgCu a AlMg. Příčinou je heterogenní struktura v důsledku nevhodného způsobu zpracování. Hloubka mezikrystalového napadení závisí na agresivitě atmosféry a mechanickém namáhání (příp.i vnitřním pnutí materiálu). V průmyslových atmosférách pronikne korozní napadení za 20 let až do hloubky 150 μm . Tento druh korozního napadení je nebezpečný především tím, že zhoršuje mechanickou pevnost; aniž by byl na povrchu materiálu korozní proces patrný. Za spolupůsobení pnutí a některých specifických agresivních složek, např. chloridů, může mezikrystalové napadení vést až k praskání materiálu (koroze za napětí). Jsou k němu náchylné zejména slitiny pro tváření typu AlZnMg a AlMg s obsahem mědi.

Transkrystalové korozní napadení probíhá sice odlišným mechanismem, ale s podobnými důsledky jako mezikrystalové napadení. Vyskytuje se hlavně v agresivních prostředích u přesycených slitin AlMg. Projevuje se vznikem velmi četných trhlinek v materiálu.

Podpovrchové korozní napadení je typickým napadením tvářených hliníkových materiálů včetně Al 99,5. Zkorodovaná místa se nacházejí těsně pod povrchem kovu a jsou s ním

spojeny pouze úzkým kanálkem, jímž do dutiny proniká korozní prostředí. Korozní zplodiny jsou objemnější než základní materiál a v další fázi dochází, současně se zvětšením korozní dutiny, k nadzvednutí slupky Al. Na povrchu se objevují vypukliny různého tvaru, které dosahují šířky 3 až 4 mm a délky až 20 mm. V konečné fázi dojde k totální destrukci, odstranění slupky a prakticky zastavení celého děje (repassivace obnaženého povrchu). Napadení je velmi rychlé, celý průběh podpovrchového napadení proběhne během prvních dvou let exploatace. Hloubka napadení je v průměru 150 až 220 μm .

Exfoliační korozní napadení se projevuje lístkovatěním kovových vrstev na povrchu. Zároveň dochází k odlupování materiálu a v agresivnějších typech atmosfér až k úplné destrukci výrobku. Vyskytuje se u slitin AlMg s vyšším obsahem hořčíku a u slitin AlMnMg. V městských, průmyslových a přímořských atmosférách je časté u materiálů AlCu.

Chemická heterogenita Al odlitků vytváří technický problém, neboť korozní napadení je velmi rychlé a vede k totální ztrátě funkce výrobku. U válcovaných a lisovaných výrobků sleduje napadení hliníku obvykle směr tváření.

2.1.3 Hořčík a slitiny hořčíku

Hořčík a jeho slitiny představují nejlehčí z běžných konstrukčních materiálů a nacházejí proto hlavní uplatnění v leteckém průmyslu a dopravní technice. Používají se především slitiny hořčíku typu "elektron" obsahující jako hlavní legury hliník (do 10 %), zinek (1,3 až 5 %) a mangan (do 2 %). Méně rozšířené jsou slitiny MgAl, MgMn a MgZn a některé další typy pro speciální účely (např. slitina MgAl s beryliem) pro atomovou energetiku.

I když hořčík je vysoce reaktivní kov, v méně znečištěných atmosférách jeho korozní rychlost většinou značně klesá s dobou expozice. Příčinou je vznik korozních zplodin, které mají ochranné vlastnosti i ve vlhkých, málo znečištěných prostředích. Ochranné vrstva se v praxi zesiluje chemickou oxidací výrobků. Pouze v průmyslově znečištěných atmosférách a v přímoří dochází k technicky významnému koroznímu napadení. Napadení hořčíku je většinou rovnoměrné. Ve znečištěných atmosférách se však vyskytuje i bodové napadení. Za napětí může zde dojít i k strukturnímu koroznímu napadení vedoucímu ke koroznímu praskání.

Mezi korozními vlastnostmi hořčíku a jeho slitin není podstatný rozdíl. Pro korozní odolnost je daleko důležitější čistota materiálu. Korozně nebezpečný je kontakt hořčíkových materiálů s jinými kovy.

Prakticky všechny výrobky z hořčíkových slitin se chromátují. Chromátování je nezbytnou úpravou povrchu i pod organické povlaky, které se často používají pro povrchovou úpravu hořčíkových materiálů. Vzhledem k alkalické reakci korozních zplodin hořčíku by totiž nátěry měly na nechromátovaném povrchu podstatně nižší životnost.

2.1.4 Chrom

Chrom dobře odolává všem běžným typům atmosfér. Pro svou vysokou korozní odolnost je používán především v mnoha prostředích jako kov pro povrchové úpravy. Chromové povlaky se vytváří buď jako dekorativní a ochranné, nebo technické.

Ozdobně ochranné povlaky se aplikují v systému Ni-Cr nebo Cu-Ni-Cr. Tloušťka chrómu v těchto systémech je vždy velmi nízká (pod 1 μm). Ochrannou účinnost zajišťuje podkladová vrstva. Druhým typem povlaků jsou povlaky funkční. Tento typ povlaku se vytváří v tloušťkách řádově větších (až několik 10 μm) a používá se pro funkční plochy, kde je třeba dosáhnout vysoké tvrdosti a ořezuvzdornosti povrchu.

Chrom má vysokou korozní odolnost ve všech atmosférických prostředích a všech kategoriích umístění. Dobrou korozní odolnost má vůči H_2S a organickým sloučeninám, a to i za vyšších teplot. Korozní chování ozdobně ochranných povlaků je dáno skladbou vrstev, jejich tloušťkou a technologií provedení (bezporézní, mikrotrhlinkový chromový povlak atp).

Technické povlaky se provádějí bez mezivrstev. Zvýšená tloušťka zaručuje odolnost povlaku proti opotřebení a zajišťuje zároveň optimální protikorozní ochranu. Dominantní postavení v tomto provedení povrchové úpravy má ale technická funkce povlaku.

2.1.5 Kadmium

Kadmium je kov, který se v minulosti uplatňoval v technické praxi jako ochranný povlak oceli. Základní korozní vlastnosti a projevy kadmia jsou velmi blízké zinku. Stejně jako zinek má anodické vlastnosti a korozní odolnost závisí na vlastnostech korozních produktů. V současnosti se z ekonomických a hlavně ekologických důvodů od užití kadmia ustoupilo. Kadmiové povlaky se používají jen ve specifických případech (letecká a vojenská technika).

Korozní odolnost kadmiových povlaků ve vnější atmosféře se mění podle podmínek prostředí (podle druhu znečištění a režimu ovlhčování). Méně odolné jsou kadmiové povlaky v průmyslových atmosférách s rozhodujícím vlivem oxidu siřičitého. Naopak odolné jsou v prostředích uzavřených prostorů, vlhkých a teplých provozních podmínkách. Relativně dobrou korozní odolnost mají kadmiové povlaky v atmosférách znečištěných formaldehydem, kyselinou mravenčí nebo octovou.

Korozním charakterem odpovídá kadmium přibližně zinku. Jeho napadení je však méně urychlováno znečištěním chloridy a produkty rozkladu organických látek. Naopak v průmyslově znečištěných atmosférách koroduje kadmium rychleji než zinek. Jeho korozní zplodiny nejsou příliš objemné. I u kadmia prodlužovala životnost povlaku chromátováním.

2.1.6 Litina

Nelegované litiny se podle formy, v níž je v materiálu přítomen uhlík, dělí na bílou litinu a šedou litinu s charakteristickou barvou lomu. Jde o materiály tvrdé a křehké, většinou obtížně obrobitelné, s hrubým a pórovitým povrchem, nevhodné pro svařování. Úpravou šedé litiny (očkováním) lze zlepšit její obrobitelnost (tzv. tvárná litina).

Pro zlepšení zpracovatelnosti i korozní odolnosti proti některým technologickým prostředím (zejména v chemickém průmyslu) nebo proti vyšším teplotám se litiny legují některými prvky (Cr, Si, Al, Ni, Mo), čímž vzniká skupina legovaných litin. Vyšší obsah uhlíku i legování litin dalšími prvky nemá výrazný vliv na jejich odolnost proti atmosférické korozi. Relativně značná tloušťka stěn litinových odlitků snižuje potřebu chránit litinové výrobky před atmosférickou korozi. Povrchová úprava se u litiny proto provádí spíše z estetických důvodů. Nejvhodnější pro tyto účely jsou organické povlaky, smalty a zinkové povlaky.

2.1.7 Měď a slitiny mědi

Měď má pro své elektrické a tepelné vlastnosti široké uplatnění v elektrotechnice. Používá se převážně v čistotě 99,5 % a vyšší. Nežádoucími nečistotami v mědi jsou kyslík, síra, vodík a vizmut. Kyslík je v mědi přítomen ve formě oxidu, síra ve formě sulfidu. Vodík se v ní rozpouští za vyšších teplot a při chladnutí se opět vylučuje a způsobuje pórovitost a špatnou svařitelnost. Vizmut zhoršuje tvárnost a podporuje vznik trhlinek. Při zpracování mědi za studena (např. při válcování) způsobuje oxid a sulfid sklon mědi k lámavosti. V prostředí vodíku je měď znečištěná oxidem náchylná ke vzniku trhlin. Je to důsledek reakce oxidu s vodíkem, při níž vzniká vodní pára, která při úniku způsobuje trhliny (*vodíková křehkost*).

Korozní odolnost mědi je dána její elektrochemickou ušlechtilostí. K odolnosti přispívá i to, že měď vytváří na svém povrchu tuhé korozní produkty. Tato vlastnost se vyskytuje u všech slitin mědi.

Atmosférická koroze mědi a jejích slitin může probíhat jak při nadkritických relativních vlhkostech vzduchu, kdy se tvoří již viditelné tenké vrstvy elektrolytu, tak i v relativně suchém prostředí. Při působení čistého suchého vzduchu se pokrývá měď a její slitiny tenkou vrstvou oxidů, která se s časem zvětšuje. Jestliže je suchý vzduch znečištěn H_2S , roste tenká vrstva korozních zplodin mnohem rychleji.

Měď je citlivá na široké spektrum znečištění. Korozí mědi výrazně urychluje roztok elektrolytu na povrchu. Rychlost závisí na době a intenzitě ovlhčení povrchu, teplotě vzduchu a obsahu stimulatorů koroze (SO_2 , Cl^-). V prostředí silně znečištěným oxidem siřičitým, může nastávat koroze mědi již při relativních vlhkostech pod 75 %.

Oxid siřičitý reaguje za přítomnosti vody a vzdušného kyslíku s mědí a vytváří na jejím povrchu oxid měďnatý a bazický síran měďnatý. To jsou základní složky korozních produktů. V atmosférách, které obsahují chloridy, se na povrchu tvoří zásadité soli, které zvyšují korozní působení atmosféry. Většinou v těchto podmínkách dochází k rovnoměrné korozi.

Rovnoměrná rychlost koroze mědi a většiny jejích slitin se pohybuje ve venkovní atmosféře v rozmezí 0,2 až 0,6 μm za rok. V městské atmosféře je korozní rychlost mědi 2,2 μm za rok a v mořské atmosféře 0,6 až 1,1 μm za rok⁵.

U elektronických součástek a prvků je měď obvykle používána s povlaky. Měď v tomto případě může difundovat póry povlaku a korodovat na jeho povrchu. Koroznímu působení může být měď vystavena nejen v místech pórů ale i v nesouvislých místech povlaku. U mědi se stříbrnými nebo zlatými povlaky se můžeme setkat s migrací korozních produktů mědi. Rychlost koroze slitin mědi a rychlost migrace přes zlato roste s růstem obsahu mědi. Měď je také náchylná k elektrolytické korozi.

V silně agresivních prostředích může souvislá koroze mědi přivodit poruchy na deskách plošných spojů. Tlustý film korozních produktů se může uvolnit, vytvořit můstky mezi vodiči a způsobit tak zkraty nebo nežádoucí vzrůst proudu v izolační části desky.

⁵ Údaje vztažené ke korozní agresivitě vnějšího prostředí ČR v 80-letech minulého století.

Se specifickými korozními mechanizmy se setkáváme u slitin mědi (mosazi). Mosaze mají v závislosti na obsahu mědi strukturu jednorázovou nebo dvoufázovou. Při obsahu mědi od 67 % má mosaz jednorázovou strukturu (mosaz α), do 62 % Cu je struktura dvoufázová (mosaz $\alpha+\beta$). Při obsahu mědi od 62 do 67 % závisí struktura na tepelném zpracování. Dvoufázové mosaze mají nižší korozní odolnost, což se v atmosférických podmínkách projevuje výskytem selektivní (extrakční) koroze a zejména korozním praskáním.

Při selektivní korozi dochází k *odzinkování* tuhého roztoku, bohatého na zinek. Zinek, jako méně ušlechtilý kov, koroduje přednostně. Tento druh koroze se vyskytuje hlavně v atmosféře s obsahem chloridových iontů při kontaktu s ušlechtilými kovy. Sklon mosaze k selektivní korozi snižují přísady arsenu a antimonu. Mosaze s obsahem zinku menším než 20 % nemají sklon k odzinkování.

Mnohem závažnější je tzv. „*sezónní praskání*“ mosazí. Dochází k němu při současném účinku pnutí, vzdušné vlhkosti a stopových množství amoniaku, jeho solí, případě rtuti nebo aminů. Korozní praskání mosazí za přítomnosti některého z uvedených stimulátorů urychlují i vyšší koncentrace SO_2 . Sklon ke koroznímu praskání se snižuje při obsahu mědi nad 75 %. Žíhání na odstranění pnutí (v závislosti na obsahu zinku při 200 až 300 °C) snižuje náchylnost mosazí ke koroznímu praskání. Příznivě též působí přísady Sn a Al. Avšak ani u speciálních mosazí se možnost korozního praskání neodstraní úplně.

Uvažujeme-li pouze rovnoměrnou korozi, není podstatný rozdíl mezi mědi a jednotlivými slitinami mědi. Za přístupu vzdušné vlhkosti vzniká na jejich povrchu vrstvička korozních zplodin, většinou modrozelená, která postupně tmavne. Při vyšších koncentracích SO_2 a zvláště H_2S převládá od počátku expozice tmavý až černý odstín korozních zplodin. Rozdíly v rychlosti atmosférické koroze nemají z dlouhodobého hlediska technický význam. V některých případech však může mít svou důležitost pomalejší nárůst korozních zplodin u bronzů a některých speciálních mosazí. Vynikající korozní odolnost proti účinkům atmosféry mají kupronikly, a to i v přímoří, kde naopak mosazi, zejména dvoufázové, podléhají odzinkování. Přibližně dvojnásobná i vyšší koroze ve srovnání s jinými materiály na bázi mědi se v agresivních atmosférách vyskytuje u tzv. vysokopevné mosazi složení 60 – 68 % Cu, 20 - 29 % Zn, 2,5 - 5 % Mn a 2 - 4 % Fe.

Korozní zplodiny na mědi a jejich slitinách mají většinou ochranné vlastnosti, takže korozní úbytky se po vytvoření vrstvy v dalším časovém průběhu zmenšují. V silně znečištěných atmosférách, především při vyšším obsahu SO_2 a H_2S , i při minimálních obsazích čpavku v ovzduší se ochranná schopnost vrstvy korozních zplodin snižuje.

Nepříznivě je hodnocený výskyt korozních zplodin na mědi a jejich slitinách v elektrotechnice. Zplodiny nejsou elektricky vodivé a zhoršují proto funkci těch součástí, u nichž je rozhodující zachování nízkého přechodového elektrického odporu. Někdy mohou být na závadu i z hlediska estetického.

Nejběžnější ochranou kontaktů z mědi je galvanické stříbření (tl. 5 až 15 μm), zlacení (tl. 1 až 20 μm), případě rhodiování (tl. 0,01 až 10 μm). K zlepšení pájitelnosti elektrotechnických dílů se používá cínování. Pro dekorativní a ochranné účely se uplatňuje elektrolytické nebo chemické niklování a elektrolytické pokovování povlakovým systémem Ni-Cr. V méně agresivních podmínkách může tento požadavek splnit i transparentní lak, někdy v kombinaci s předchozí pasivací.

2.1.8 Nikl

Nikl je v elektrotechnice používán jako čistý kov nebo jako složka slitin. Z korozního hlediska jsou slitiny niklu jedním z nejuvhodnějších konstrukčních materiálů, protože se jejich vlastnosti dají vhodnou kombinací legovacích prvků upravit tak, aby odolávaly nejrůznějším silně agresivním prostředím.

S čistým niklem se v elektrotechnice setkáváme ve formě ochranných povlaků korozně méně odolných konstrukčních materiálů. V těchto případech je nikl používán buď jako mezivrstva, která omezuje korozi, nebo jako vrstva, která má dekorativní účel. Mezivrstva v galvanickém povlaku plní funkci bariéry proti difúzi podkladového kovu (obvykle mědi nebo zinku). Mezivrstvy niklu jsou také aplikovány jako ochrana proti tvorbě cínových whiskerů.

V běžných vnitřních atmosférách mají niklové povlaky vysokou korozní odolnost a zachovávají si i svůj lesklý vzhled. Pokud dochází ke korozi, pak převládá rovnoměrná koroze a pitting. Nikl je pokryt vrstvou oxidů, která ho v mírných prostředích chrání proti dalšímu napadení. Oxidový film má ale charakter nevodivé (izolační) vrstvy.

Na vnější atmosféře je stálost niklových povlaků výrazně snižována znečištěním atmosféry, s nímž nikl reaguje a vytváří na svém povrchu tmavé a jinak zbarvené korozní produkty (většinou různé sloučeniny s obsahem síry). Nikl dobře odolává atmosférické korozi i v nejagresivnějších podmínkách. Korozní napadení v těchto podmínkách dosahuje řádově pouze několik mikrometrů za rok. V přítomnosti sloučenin síry v atmosféře (SO_2 , H_2S) vznikají na niklu černé korozní zplodiny, znečištění atmosféry chloridy vede ke vzniku zelenavých zplodin koroze.

Nikl je elektrochemicky ušlechtilý kov, a proto jeho povlak na oceli musí být nepórovitý, aby nedocházelo v jeho pórech k urychlení koroze méně ušlechtilého podkladového kovu. Různé kombinované niklové povlaky (duplex apod.) mají výhodnější elektrochemické vlastnosti a zvyšují i odolnost samotného povlaku.

2.1.9 Ocel

Uhlíková ocel je pro vhodné mechanické vlastnosti a dobrou zpracovatelnost nejrozšířenějším konstrukčním materiálem. Z korozního hlediska však patří mezi méně odolné materiály. Na korozní vlastnosti oceli má vliv jejich složení, stav povrchu a do určité míry i jejich tepelné zpracování. Ocel spontánně vytváří na svém povrchu oxidy a další korozní produkty s omezenou ochrannou schopností. Ve většině venkovních prostředí a ve vnitřních průmyslových prostředích dochází ke koroznímu napadení oceli i při nižších relativních vlhkostech vzduchu, než je kritická vlhkost.

Základní příčinou atmosférické koroze oceli je vlhkost, která spolu s agresivními složkami atmosféry vytváří na povrchu vrstvu elektrolytu, ve které dochází ke korozi. Hlavním stimulem atmosférické koroze je oxid siřičitý. V elektrolytu na povrchu oceli dochází k rychlé oxidaci oxidu siřičitého na oxid sírový, který tvoří ve vodě síranové ionty. Síranové ionty se pak aktivně podílejí na anodické reakci železa, která probíhá v několika základních stádiích. Konečným produktem těchto procesů je hydratovaný oxid železitý (rez). Obdobný průběh má koroze vyvolaná chloridovými ionty.

Průběh atmosférické koroze oceli ovlivňuje řada faktorů (vlhkost, teplota, znečištění, proudění vzduchu), které se v jednotlivých prostředích uplatňují v různé míře. Vždy mají ale dominantní postavení oxid siřičitý a sírany. Ustálený roční korozní úbytek v málo znečištěné vnější atmosféře je 5 až 30 μm a v silně znečištěné atmosféře dosahuje hodnot až 50 μm ⁶.

Atmosféra	Hmotnostní úbytek ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)
venkovská	300
městská	300 - 500
průmyslová	500 - 700
průmyslová silně znečištěná	700

Tab.11 Hmotnostní úbytky oceli po ročním působení vnějších atmosfér mírného pásma⁶ [2]

Z korozního hlediska přicházejí v úvahu tři hlavní skupiny oceli, lišící se v korozní odolnosti:

- uhlíkové a nízkolegované oceli,
- speciální nízkolegované oceli,
- vysokolegované korozivzdorné oceli.

2.1.9.1 Uhlíkové a nízkolegované oceli

Do této skupiny spadají svými korozními vlastnostmi oceli třídy 10 až 16 (s výjimkou patinujících ocelí z třídy 15) a dále nástrojové oceli třídy 19, oceli na odlitky.

Bez povrchové úpravy mají uhlíkové a nízkolegované oceli v atmosférických podmínkách omezené použití. V atmosféře a v elektrolytech s přibližně neutrální reakcí korodují za vzniku rzi. Ta zhoršuje nejen vzhled povrchu oceli, ale i elektrický odpor a tepelnou vodivost, hladkost, ztěžuje rozebíratelnost spojů. Korozní napadení je rozloženo po celé ploše, i když v jednotlivých jejích částech postupuje do hloubky obvykle různou rychlostí. Tato nerovnoměrnost však není v časovém průběhu pevně fixována na určitá místa. Na povrchu bez nečistot a nánosů nedochází k místnímu napadení oceli.

Korozi do určité míry ovlivňuje druh a obsah příměsí a legur. Např. se stoupajícím obsahem síry roste mírně i korozní rychlost a naopak s obsahem uhlíku se rychlost koroze částečně zpomaluje. Technický význam má u uhlíkových ocelí přítomnost mědi, která v koncentraci 0,2 až 0,3 % zvyšuje korozní odolnost. Této skutečnosti je využito u zvláštní skupiny ocelí, tzv. patinujících, u nichž se přidávkem mědi a dalších prvků v poměrně nízkých koncentracích podstatně zvyšuje jejich korozní odolnost v atmosférických podmínkách.

Poněkud nižší rychlost atmosférické koroze ocelí třídy 13 až 16, především v počátečních fázích, umožňuje v praxi při nízké agresivitě atmosféry jejich použití i bez povrchové úpravy, a to zejména u součástí častěji čištěných nebo mazaných.

U ocelí třídy 14 mají vznikající zplodiny koroze částečně ochranné vlastnosti. Při vyšším obsahu křemíku se tyto oceli pak svými korozními vlastnostmi již blíží patinujícím ocelím. Na dlouhodobý průběh atmosférické koroze uhlíkových a nízkolegovaných ocelí nemá významný vliv způsob tváření a stav povrchu (lesklý, matný, zaokujený, otryskaný) tak, jak je tomu např. u chromových nebo chromniklových ocelí. Stav povrchu však může do určité míry

⁶ Údaje vztažené ke korozní agresivitě vnějšího prostředí ČR v 80-letech minulého století.

ovlivnit kinetiku koroze v počáteční (náběhové) fázi, a to především v méně agresivních prostředích skladových prostor. Lepší stav povrchu u ocelí třídy 12 až 16 způsobuje většinou pomalejší náběh koroze než u konstrukčních ocelí třídy 10 a 11. Rovněž otryskaný povrch je reaktivnější než leštěný, takže náběh koroze je rychlejší. Při dlouhodobém působení atmosféry však tyto počáteční rozdíly postupně zanikají a ztrácejí technický význam.

Protože tato skupina ocelí působením atmosféry poměrně rychle koroduje, musí být zajištěna protikorozní ochrana výrobků či dílů z nich vyrobených všude tam, kde by korozní napadení bylo z funkčních nebo estetických hledisek nežádoucí. Nejširší uplatnění má povrchová úprava nátěry. Vhodné nátěry v potřebných tloušťkách mohou zabezpečit protikorozní ochranu výrobků prakticky ve všech případech klimatického namáhání. Široké možnosti uplatnění mají i povlaky z práškových plastů. Dlouhodobou ochranu i v agresivních prostředích zabezpečují smalty, metalizace nebo žárové zinkování. Žárové zinkování a metalizace se může kombinovat s nátěry.

Z galvanických procesů má největší uplatnění zinkování doplněné chromátováním. Kadmiování, i když má proti zinkování některé technické přednosti, má omezené použití vzhledem k ekologické závadnosti kadmia a k zákazu jeho používání. Z hlediska ochranné účinnosti jsou oba tyto povlaky většinou případů ekvivalentní. Ochranu jednotlivých součástí výrobků lze řešit povlakovým systémem (Cu)-Ni-Cr. Galvanické cínování a některé další speciální galvanické pokovovací procesy se uplatňují spíše z funkčních důvodů.

U drobných dílů lze protikorozní ochranu zabezpečit chemickým niklováním, u spojovacího materiálu difúzním chromováním. Fosfátování a černění samy o sobě nezabezpečují dostatečnou ochranu ani v málo agresivním prostředí a musí být proto vždy doplněny nátěrem nebo konzervačním prostředkem.

Tam, kde z funkčních důvodů nepřichází v úvahu povrchová úprava, např. u kluzných ploch a pohyblivých součástí, musí být jejich protikorozní ochrana zajištěna jiným způsobem, např. vhodnými mazacími prostředky s částečným ochranným účinkem, provozováním strojů s nechráněnými částmi v nekorozivním prostředí (vytápěné haly apod.), hermetizací kritických detailů apod. Zvláštní pozornost je u takovýchto výrobků třeba věnovat i jejich dočasné ochraně, aby nedošlo ke koroznímu napadení nedostatečně chráněných povrchů během přepravy, skladování a v obdobích jejich provozního klidu.

2.1.9.2 Patinující nízkolegované oceli

Zvláštní skupinu ocelí třídy 15 tvoří nízkolegované konstrukční oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, v ČR známé pod obchodním názvem *Atmofix*. Obsahují přísady, které způsobují, že ve vhodných atmosférických podmínkách vzniká postupně na jejich povrchu pevná a přilnavá patina, která účinně brzdí korozní proces. Nejúčinnější přísady jsou P, Cr, Cu a Ni. Struktura, barva i ochranná funkce patiny na těchto ocelích závisí na klimatických faktorech a konstrukčním uspořádání výrobku.

Největší uplatnění mají tyto oceli u některých stavebních konstrukcí, u nichž patina vytváří dostatečnou protikorozní ochranu (není nutná jiná povrchová ochrana). Jsou to např. mostovky, stožáry vysokého napětí apod. Nezbytným předpokladem však je, aby konstrukce splňovala podmínky pro vznik ochranné vrstvy (patiny).

Ve venkovských, městských a průmyslově méně znečištěných prostředích se korozní rychlost ustálí na hodnotách, které jsou velmi nízké a technicky nevýznamné (zhruba po 5 letech expozice). Aby se mohla vytvořit ochranná vrstva patiny, znečištění SO_2 nesmí přestoupit mezní hranici, která je asi $0,12 \text{ mg.m}^{-3}$ ($90 \text{ mg.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Při vyšších koncentracích znečištění nemá vzniklá vrstva patiny dostatečnou ochrannou účinnost a svými vlastnostmi se blíží vrstvám rzi na uhlíkových ocelích.

Další podmínkou, nezbytnou pro vznik ochranné vrstvy, je střídání period ovlhčení a vysoušení povrchu. Na místech trvale vlhkých, např. pod vrstvou usazenin (prach, spad rzi), ve spárách nebo v různých kapsách zadržujících vodu, dochází k nepříznivému vývoji vrstvy patiny.

V podmínkách příznivých pro vznik homogenní vrstvy patiny, se někdy využívá fialovo-hnědé barvy povrchu nízkolegované oceli i jako estetického prvku v architektuře. Vhodnost použití těchto ocelí pro jiné účely musí být zvážena především z ekonomického hlediska. Použití nízkolegovaných ocelí ve speciálních prostředích s jiným obsahem znečištění než SO_2 , např. v provozech chlorové chemie, mořnách, barvárnách a výrobě umělých hnojiv, je zcela nevhodné.

Povrchová úprava patinujících ocelí není běžná. Organické povlaky na těchto ocelích mají ale delší životnost než na uhlíkových ocelích, protože se snižuje nebezpečí podkorodování povlaku. Této výhody se využívá ve speciálních případech např. u některých částí konstrukcí, na nichž by nemusela vzniknout dostatečně účinné ochranná vrstva, z estetických důvodů apod.

2.1.9.3. Vysokolegované oceli

Do této třídy se zahrnují chromové, chromniklové, manganchromové a manganochromniklové oceli, které bývají souhrnně označovány jako *korozivzdorné oceli*. Z hlediska atmosférické koroze jde o nejodolnější oceli z běžně používaných konstrukčních materiálů. Pro rozdíly v charakteristice jednotlivých materiálů této třídy jsou proto rozhodující především jejich mechanické vlastnosti a zpracovatelnost, které vyplývají z jejich chemického složení a struktury.

Korozní odolnost korozivzdorných ocelí tř. 17 je podmíněna pasivitou jejich povrchu. Pro vznik pasivního stavu je nezbytná přítomnost chrómu v tuhém roztoku železa a v koncentraci minimálně 12 %. Je tedy nutné, aby materiál obsahoval takové množství chrómu a byl zpracován takovým postupem, aby i po vyvázání chrómu přítomným uhlíkem na karbidy zůstalo v tuhém roztoku minimálně 12 % chrómu a aby na povrch nepůsobily látky, které by narušovaly jeho pasivitu.

Při dodržení těchto podmínek jsou korozivzdorné oceli obvykle stálé ve všech typech atmosfér s výjimkou přímořských oblastí, obsahujících aerosol mořské vody, jehož chloridové ionty mohou rušit pasivitu a vyvolávat bodovou korozi. K bodovému napadení korozivzdorných ocelí dochází rovněž při nerovnoměrném přístupu vzduchu k jejich povrchu, jak je tomu např. pod vrstvou nečistot, ve spárách apod. Korozní odolnost v atmosférách se specifickým znečištěním (např. prostředí chemických závodů) závisí na charakteru a koncentraci znečištění a musí být pro každý případ zvlášť ověřována. V takovýchto atmosférách a někdy i v přímoří může u korozivzdorných ocelí docházet ke koroznímu praskání.

I při zanedbatelných hmotnostních úbytcích dochází někdy u těchto ocelí účinkem atmosféry ke vzniku barevných vrstev na povrchu. U chromových ocelí na venkovní atmosféře může vznikat i tenká povrchová vrstva rzi, která může být na závadu, mají-li příslušné součásti plnit i estetickou funkci.

Ani u materiálů, u nichž by bylo možno předpokládat podle chemického složení jejich dostatečnou korozní odolnost, nelze vyloučit, že vzniknou alespoň místně podmínky vedoucí ke koroznímu napadení. Příčinou je buď nehomogenita povrchu, nebo nevhodné tepelné zpracování, při němž se vyváže chrom do karbidů (např. v okolí svaru) apod.

Protože obecně jde o materiály dostatečně odolné proti atmosférické korozi (s výjimkou nízkolegovaných chromových ocelí), není důvod k jejich ochraně povlaky. Doporučuje se však leštění jejich povrchu, které zvyšuje jejich korozní odolnost.

2.1.10 Olovo

Olovo patří mezi korozně nejodolnější materiály i v znečištěných atmosférách. Podmínkou ochranné účinnosti povlaku z olova je však jeho nepórovitost. Ke zvýšení koroze olova může docházet v přítomnosti rozkladných produktů některých organických materiálů, protože olovo neodolává účinku nižších mastných kyselin. Rovněž kontakt s alkalickými stavebními materiály urychluje korozní napadení olova. Povlaky z olova jsou dnes při ochraně proti atmosférické korozi vzácné.

2.1.11 Palladium a slitiny palladia

Palladium a slitiny palladia jsou považovány za alternativní náhradu zlata, především pro aplikace v konektorech. Zlato je v těchto případech používáno jen jako tenká vrstva na palladiu.

Z korozního hlediska probíhá znehodnocování palladia v agresivních podmínkách stejně jako u zlata. Palladium je ušlechtilý kov s omezeným trendem tvorby korozních produktů při interakci s prostředím. Je však citlivé na chlór. Na rozdíl od zlata je méně náchylné k transportu korozních produktů. Slitiny palladia jsou obvykle méně ušlechtilé než čisté palladium, a proto jsou více náchylné k rovnoměrné korozi. Např. slitina palladium-stříbro je citlivá na sulfony a vytváří na svém povrchu vrstvy siřnku stříbrného.

Koroze palladiových povlaků v pórech i migrace korozních produktů po povrchu určuje korozní chování těchto povlaků. Na povrchu palladiových povlaků se mohou vlivem působení polymerů nebo vlivem vibrací či tepelných změn vytvářet nevodivé (izolační) vrstvy. Palladium se někdy chrání velmi tenkou vrstvou zlata. Zlato snižuje nebezpečí vzniku třecích polymerů, působí jako tuhé mazadlo.

2.1.12 Stříbro a slitiny legované stříbrem

Stříbro má ze všech kovů používaných v elektrotechnice nejvyšší elektrickou a tepelnou vodivost. Je však velmi měkké a má malou pevnost za tepla. V čistých atmosférách stříbro prakticky nekoroduje. Velmi silně je však napadáno siřným znečištěním (např. sirovodíkem), které vyvolává na povrchu stříbra rovnoměrnou korozi a vytváří elektricky málo vodivou vrstvu sulfidů. Růst sulfidů na stříbre v závislosti na čase je lineární. V omezeném rozsahu je

tvorba sulfidu stříbrného závislá na vlhkosti. Snížením relativní vlhkosti nebo zvýšením teploty můžeme někdy vyvolat snížení a jindy zvýšení korozní rychlosti stříbra.

Tvorba sulfidů může být vyvolána i kontaktem stříbra s látkami obsahujícími sloučeniny síry (např. pryží). Filmy či vrstvy sulfidu stříbrného vzniklé při rovnoměrné korozi jsou relativně měkké a snadno se porušují. Ve velmi agresivních prostředích může docházet ke vzniku a vývoji whiskerů sulfidu stříbrného, které mohou v průběhu několika let narůstat do délky i několika milimetrů. Protože sulfid stříbrný je polovodivý, mohou tyto whiskery způsobovat v elektronickém zařízení zkratky. Tlusté vrstvy sulfidu stříbrného mohou z povrchu odpadat a na jiných místech vytvářet vodivé cesty.

Důvodem pro omezování stříbra ve výrobě elektronických prvků je celá řada. Jedním z nich je migrace korozních produktů stříbra na izolační plochy. Při používání stříbra je třeba počítat i s elektrolytickou korozi. Nebezpečí elektrolytické koroze je větší, je-li stříbro pod elektrickým zatížením v kontaktu s navlhavým izolantem.

TLoušťka a kvalita stříbrných galvanických povlaků je velmi důležitá zejména s ohledem na korozní napadení v pórech, zvláště je-li nosným materiálem měď. Korozní produkty mědi z hran či pórů mohou migrovat a tvořit na povrchu vrstvu znehodnocující jak kontaktní vlastnosti povlakového systému, tak popřípadě zhoršovat jeho pájitelnost.

Protože stříbro je méně ušlechtilý kov než zlato, pozlacování stříbrných kontaktů tenkými povlaky zlata není nejvhodnější způsob zvyšování korozní odolnosti, dokonce ani ve středně agresivních prostředích. Zlaté povlaky jsou totiž velmi rychle pokryty korozními produkty (sulfidem stříbrným).

Hmotnostní úbytky stříbra nejsou v žádném typu atmosféry technicky významné. Naproti tomu již stopové znečištění atmosféry sirovodíkem vede ke vzniku tmavé vrstvy sulfidu s vysokým elektrickým odporem. Tyto vrstvy jsou proto na závadu při použití stříbra jako kontaktního materiálu v elektrotechnice. K dlouhodobému zajištění nízkého přechodového odporu se stříbro opatřuje povlakem rhodia nebo zlata.

2.1.13 Zinek

Zinek je kov, který nemá takové mechanické vlastnosti, aby mohl být využíván jako konstrukční materiál. Má však velmi dobré korozní vlastnosti ve většině atmosférických prostředích. Proto je převážně aplikován jako povlakový materiál.

Zinek je elektrochemicky méně ušlechtilý než většina používaných technických kovů. Vytvářené ochranné povlaky jsou anodického typu. Důsledkem této vlastnosti zinkových povlaků je, že při kontaktu zinku nebo zinkového povlaku s jinými kovy dochází k elektrochemické korozi, kdy zinek koroduje rychleji.

Přesto, že zinek patří mezi neušlechtilé kovy, je jeho korozní odolnost ve většině atmosfér velmi dobrá. Hlavní důvod je v odlišné funkci stimulátorů koroze, které přicházejí do styku s korodujícím povrchem. Na zinku se korozně aktivní látky váží do nerozpustných nebo omezeně rozpustných složek korozních produktů, které vykazují ochranné vlastnosti.

Atmosféra	Korozní rychlost ($\mu\text{m.rok}^{-1}$)
venkovská	0,4 - 5
městská	1,6 - 7
průmyslová	3,4 - 11
přímořská	0,6 - 15
tropická	0,5 - 39

Tab.12 Korozní rychlost zinku v různých prostředích⁷[2].

Koroze zinku probíhá většinou rovnoměrně. Charakter korozních produktů je závislý na prostředí, ve kterém ke korozi dochází. V čistých prostředích se tvoří na povrchu zinku vrstva hydroxidu zinečnatého s oxidem zinečnatým. Tato vrstva má již během několika dní dobré ochranné vlastnosti. V různě znečištěných atmosférách vznikají složité směsi látek, které se liší svou rozpustností. V extrémně znečištěných atmosférách a vysokých relativních vlhkostech se vytvářejí na povrchu zinku převážně rozpustné korozní produkty bez ochranné schopnosti.

V závislosti na stupni agresivity atmosféry vzrůstá ustálená rychlost koroze až k hodnotě 10 μm za rok. Korozi urychluje zejména vlhkost, znečištění atmosféry chloridovými ionty a některé produkty rozkladu organických hmot (především formaldehyd a nižší mastné kyseliny). Korozní napadení je rovnoměrné a je spojeno se vznikem bělošedých korozních zplodin, které bývají zvláště ve vlhkých prostředích značně objemné. Protože je zinek elektrochemicky méně ušlechtilý než ocel, chrání ji i v místech pórů či drobnějších defektů v povlaku. Počátek koroze zinkového povlaku se oddaluje chromátováním. Na rychlost koroze zinkového povlaku nemá podstatný vliv způsob provedení zinkového povlaku (galvanicky, metalizací nebo žárovým pokovením).

2.1.14 Zlato a kovy skupiny platiny

Zlato je neoxidovatelný kov a pro své elektrické a korozní vlastnosti má v elektronice nezastupitelné místo. Z ekonomických důvodů se zlato používá především jako povlakový materiál (na kontakty, stykové plochy) a při výrobě některých elektronických prvků. V normálních podmínkách zlato prakticky nekoroduje. Pokud dochází ke korozi zlatých povlaků, je to způsobeno korozi podkladového materiálu.

Korozní chování pozlacených povrchů je ovlivňováno znečištěním. Koroze v pórech je stimulována vysokou hodnotou relativní vlhkosti, chlórem, oxidem siřičitým a sirovodíkem. Migrace korozních produktů je stimulována přítomností sirovodíku. Znečištěná vnitřní průmyslová nebo zemědělská prostředí mají zásadně škodlivé účinky na zlaté povlaky.

Spolehlivost pozlacených kontaktů v mírném prostředí je určena tvarem kontaktu, základním materiálem, mezivrstvou, čistotou a pórovitostí vrchního povlaku. Důležitými konstrukčními faktory, majícími vliv na ochrannou účinnost zlatého povlaku, je kontaktní síla, odolnost povlaku proti opotřebení a ochranná účinnost krytí kontaktového svazku.

⁷ Údaje vztažené ke korozní agresivitě vnějšího prostředí ČR v 80-letech minulého století.

Protože u pozlacených povrchů dochází ke korozi převážně v pórech, je velmi důležitá jeho homogenita, odolnost povlaku proti opotřebení a korozní odolnost substrátu. V agresivních podmínkách je dominantním korozním mechanismem migrace korozních produktů z pórů, hran a oblastí se selektivně vyloučeným zlatým povlakem, což má za následek nespolehlivost pozlacených kontaktů v těchto podmínkách.

2.2 Organické materiály

2.2.1 Plasty

2.2.1.1 Zásady použití plastů

Při volbě plastů pro konstrukční díly je třeba respektovat tyto zásady:

- Vlastnosti plastu jsou dány výrobcem materiálu. Zpracovatel nebo uživatel obvykle nemůže dodatečnou úpravou vlastností plastu vylepšit.
- Uváživě je třeba řešit dílce namáhané tepelně a mechanicky. Tepelné rozmezí použití nelze překročit ani krátkodobě, protože by mohlo dojít k rozměrovým změnám.
- Je účelné se vyvarovat účinků sálavého tepla a pokud je to možné, zastínit díly z plastů před účinkem slunečního záření.
- Při návrhu konstrukčního dílu je nutné pamatovat na to, že některé hmoty mají tvarovou paměť.
- Při konstrukci detailu je třeba se vyvarovat prudkých změn tvaru a tloušťky stěn. Pokud jsou výrobky vystaveny tlaku, je nutné předpokládat tečení. Tlak je třeba rozložit na větší plochu.
- V neplněných termoplastech lze velmi obtížně třískově zhotovovat závity. Lépe je volit metodu zálsků. Otvory není vhodné umísťovat blízko krajů.
- Nevhodné tvarové a konstrukční řešení může životnost dílu z plastu snižovat více než samotné působení prostředí.

2.2.1.2 Vlastnosti vybraných druhů plastů

Chemický průmysl nabízí nepřehledné množství syntetických materiálů. Kromě toho se neustále objevují syntetické materiály určitého základního typu, jejichž vlastnosti jsou z řady důvodů pozměňovány. Proto pro plastové materiály ani pro skupiny materiálů nelze jednoznačně vymezit hranice jejich použitelnosti. Z těchto důvodů je zde uváděn jen rámcový přehled základních typů plastových materiálů.

Termoplasty

Polyetylén (PE)

Je materiál ohebný s dobrou rázovou houževnatostí i při nízkých teplotách, s nízkým koeficientem tření, s velmi dobrými dielektrickými vlastnostmi, se značnou tepelnou rozložitelností, s náchylností k praskání v tenzoaktivních prostředích. Destabilizovaný polyetylén má nízkou odolnost proti působení povětrnosti (vysokotlaký je odolnější než nízkotlaký). Působením atmosféry polyetylén šedne a snižují se jeho mechanické hodnoty (vznik trhlinek). Nejvíce se mění hodnoty tažnosti, méně pevnost v tahu. Modul pružnosti se prakticky nemění. Za nepřítomnosti světla se hodnoty mechanických vlastností nemění. Stabilizované polyetylény jsou velmi dobře až středně odolné proti klimatickým vlivům.

Polypropylen (PP)

Je materiál s nízkou specifickou hmotností, teplotně odolnější a tužší než PE. Polypropylen je dobrým elektrickým izolátorem, při minusových teplotách má nízkou houževnatost. Vlastnosti základního materiálu se modifikují jako kopolymery s etylénem, směsí s elastomery nebo přidáním skleněných vláken. Stabilizovaný polypropylen je proti klimatickým vlivům středně odolný, stabilizovaný je odolný málo.

Polybuten-1 (PB)

Tento materiál má podobné vlastnosti jako PE, má však až do +90 °C vyšší pevnost, vyšší odolnost ke studenému toku. Nepodléhá korozi za napětí. Stabilizovaný PB je středně odolný proti klimatickým vlivům. Nestabilizovaný PB je proti klimatickým vlivům málo odolný.

Polymetylpenten (PMP)

Polymetylpenten má z polyolefinů nejnižší specifickou hmotnost a nejvyšší bod tání. Mechanické vlastnosti do teploty +95 °C jsou obdobné jako u PE a PP. Elektrické vlastnosti jsou obdobné jako u ostatních polyolefinů. Materiál je málo odolný proti klimatickým vlivům a vyžaduje úpravu stabilizátory.

Polystyren standardní (PS), polystyren houževnatý (h PS)

Standardní polystyren je průhledný, tvrdý, tuhý, odolný do +60 °C. Je značně křehký a náchylný ke korozi za napětí. Houževnatý polystyren (kopolymery polybutadienu či styrenbutadienu) je neprůhledný, má zvýšenou odolnost proti rázu, nižší pevnost, tvrdost, chemickou odolnost a elektrické vlastnosti. Působením atmosféry dochází u něho k žloutnutí a v důsledku tvorby mikrotrhlinek na povrchu k zmatnění. U PS klesá povolná pevnost v tahu. Výrazně se zhoršuje rázová houževnatost, která dosahuje po jednom roce venkovní expozice zhruba asi jedné třetiny původní hodnoty. Ve tmě se prakticky nemění, pouze u rázové houževnatosti dochází k mírnému poklesu.

Terpolymer akrylonitril-butadien-styren (ABS)

Má velmi dobrou rázovou a vrubovou houževnatost od -20 do +70 °C. Výrobky mají vysoký povrchový lesk, dobrou probarvitelnost, má možnost galvanického pokovení. Stabilizovaný ABS je středně odolný proti klimatickým vlivům, nestabilizovaný ABS je málo odolný.

Polyvinylchlorid (PVC)

Neměkčený PVC je odolný do teploty +60 °C, samozhášitelný, odolný proti toku za studena, má nízkou rázovou houževnatost při minusových teplotách. Stabilizovaný PVC je velmi dobře až středně odolný proti klimatickým vlivům, nestabilizovaný je středně odolný. Výsledné vlastnosti jsou závislé na formulaci směsi.

Polyamidy (PA)

Jsou konstrukční termoplasty s aplikací od -20 do +90 °C. Nestabilizované polyamidy jsou málo odolné proti klimatickým vlivům. Během termooxidačního stárnutí se výrazně mění tažnost, rázová houževnatost a polymerační stupeň. Menší změny jsou u meze kluzu a meze pevnosti v tahu.

Deriváty celulózy

Jsou navlhavé, klimaticky středně až málo odolné.

Polyacetát (polyformaldehyd) (POM)

Konstrukční materiál s dobrou tuhostí, pevností, odolností proti únavě, s dobrým koeficientem tření, nízkou opotřebitelností. Použitelný v rozmezí teplot -40 až +90 °C.

Polytetrafluoretylen (PTFE)

Je použitelný od -260 do +260 °C. Má nízký koeficient tření, je nenavlhavý, nesmáčivý, antiadhezní, chemicky značně odolný.

Polyvinylidenfluorid (PVF)

Teplotní rozsah použitelnosti je od -60 do +150 °C, jeho klimatická odolnost je nižší než u předchozích materiálů.

Polyfenyloxid (PPO)

Je materiál tuhý, tvrdý, houževnatý a odolný do +10 °C. Je odolný proti opotřebení, s dobrou rázovou a vrubovou houževnatostí do -60 °C. Má nepatrnou navlhavost a dobré izolační vlastnosti. Proti klimatickým vlivům je málo odolný.

Polyetylentereftalát (POTP) a polybutylentereftalát (PBTP)

Mají dostatečnou tvrdost, tuhost, nízký tok za studena, vysoký modul pružnosti, odolnost proti opotřebení, nepatrnou navlhavost, rozměrovou stálost. Amorfni typy mají dobrou rázovou houževnatost do -40 °C. Tvarová stálost v zatížení při +60 °C klesá.

Polykarbonáty (PC)

Jsou tuhé, houževnaté, s pevností do +120 °C, mají malé smrštění, dobré izolační a dielektrické vlastnosti. Proti klimatickým vlivům jsou středně odolné.

Polysulfony (polyfenylensulfon) (FPSU)

Mají dobré vlastnosti od -100 do +150 °C. Nevýhodná je nízká vrubová houževnatost. Proti klimatickým vlivům jsou málo odolné.

Polyuretany (PUR)

Tyto termoplasty se používají od tvrdých typů přes elastoplasty až po tuhé nebo měkké pěny. Proti klimatickým vlivům jsou málo odolné.

Reaktoplasty

Reaktoplasty se plní až do 60 % vyztužujícími nebo nevyztužujícími plnivými, popř. nosnými materiály (tkaniny, rohože, papíry). Reaktoplasty jsou proti termoplastům tvrdší, tužší, nerozpustné, netavitelné. Běžné jsou hmoty fenolické, melaminové, močovinové, epoxidové, polyesterové a silikonové.

Fenolformaldehydové (FF) a kresolformaldehydové (KF) hmoty

Jsou to materiály tuhé, teplotně odolné, samozhášivé, odolné nárazům, omezeně tavitelné. Formulují se jako vyztužené i nevyztužené. Plní se dřevnou moučkou, azbestem, grafitem, syntetickými vlákny, skleněnými vlákny, textilními odštěpky. Proti klimatu jsou velmi dobře až středně odolné (vhodnější pro venkovní atmosféru, zejména tropy; jsou hmoty plněné anorganickými materiály).

Melaminové (MP) a močovinné (UF) lisovací hmoty

Mají dobré elektrické vlastnosti, vysokou povrchovou tvrdost, lesk, jsou dobře probarvitelné, nehořlavé, mají nízkou rázovou houževnatost a rozměrové změny vlivem vlhkosti. Trvalá teplota použití UF je +80 °C a MF +100 °C. Proti klimatickým vlivům jsou málo odolné.

Epoxidové pryskyřice (EP)

Mají dobrou tepelnou odolnost a elektroizolační vlastnosti. Používají se jako lepidla nebo k laminování. Lamináty mají vysokou pevnost a teplotní odolnost. Proti klimatickým vlivům jsou středně odolné.

Polyesterové pryskyřice (UP)

Používají se jako pojivo pro vyztužení lisovací hmoty a lamináty. Výrobky jsou tvrdé, tepelně stálé. Proti klimatickým vlivům jsou velmi dobře až středně odolné

Silikonové hmoty (SI)

Dodávají se jako pryskyřice, elastomery, kaučuky, lepidla, tmely. Rozsah teplot použití od 60 do +260 °C.

2.2.2 Pryže

2.2.2.1 Zásady použití pryží

Pryže jsou heterogenní materiály, které mimo vlastní polymer (kaučuk) obsahují vulkanizační činidla, urychlovače, aktivátory, ztužovačla, plniva, změkčovačla, *antioxidanty*, *antiozonanty*, vosky, barviva a speciální přísady. Klimatická odolnost pryží závisí na druhu kaučuku, složení směsi, způsobu zpracování, stupni vulkanizace a použité technologii. Vlivem slunečního záření, ozónu, kyslíku, tepla, vlhka a mikroorganismů dochází ke strukturálním a mechanickým změnám. Pro použití pryží je limitující stupeň jejich fotooxidační degradace a teplota. Poškození se projevují různými způsoby, např. sít'ováním, trhlinami, sprašováním, uvolňováním plniv, vypocováním vosku, křehnutím povrchu, měknutím aj.

2.2.2.2 Vlastnosti vybraných pryží

Pryže z přírodního kaučuku

Přírodní kaučuk snadno degraduje vlivem světla, speciálně působením UV záření. V důsledku fotooxidace povrch kaučuku postupně měkne, stává se lepkavým s pozdější křehkou povrchovou vrstvičkou pokrytou sít'í neorientovaných trhlinek. Tloušťka materiálu se zmenšuje o 0,1 až 0,2 $\mu\text{m.rok}^{-1}$. Vlivem atmosférického stárnutí klesá pevnost v tahu a tažnost, později i hodnota modulu a tvrdost. Pryže z přírodního kaučuku neodolávají ozónu. Pro venkovní použití je nutná úprava směsi antioxidanty, antiozonanty a vosky. Tepelná odolnost přírodního kaučuku je do 60 až 70 °C, bod tuhnutí -30 až -45 °C, bod křehkosti -50 až -60 °C.

Přírodní kaučuk je často napadán mikroorganismy. Odolnost pryží je závislá na fungicidních a baktericidních účincích urychlovačů a antioxidantů. Výsledkem napadení jsou změny mechanických vlastností, např. změny v tahu a tažnosti. Z hlediska atmosférického stárnutí jsou pryže z přírodního kaučuku hodnoceny jako středně až málo odolné, někdy i jako neodolné.

Pryže z butadien-styrenového kaučuku

Butadien-styrenový kaučuk je velmi málo odolný proti působení světla a fotooxidační degradaci. Při atmosférickém stárnutí převládá síťování, na povrchu pryže se tvoří křehká vrstvička se sítí drobných trhlinek. Dochází k uvolňování plniv a jejich sprašování. Atmosférickým stárnutím zprvu narůstá a později klesá pevnost v tahu. Tažnost má trvale klesající tendenci. Odolnost proti ozónovému praskání je malá. Mezní teplota použitelnosti je +80 °C, bod tuhnutí -20 až -45 °C, bod křehkosti -50 až -60 °C. Jestliže jsou tyto pryže znečištěny živnými látkami, jsou napadány půdními bakteriemi a mikroorganismy. Odolnost proti atmosférickému stárnutí je hodnocena jako středně odolná až málo odolná, popř. i neodolná.

Pryže z butadienového kaučuku

Jsou citlivé na světlo. Fotooxidační reakce vede k síťování. Povrchová vrstva křehne a při deformaci praská. Atmosférické stárnutí je poměrně rychlé. Mezní teplota použitelnosti je do 70 až 80 °C, bod ztuhnutí je -40 °C a bod křehkosti je -90 až -100 °C. Proti atmosférickému stárnutí jsou tyto materiály neodolné. V čistém stavu je mikroorganismy nenapadají.

Pryže z butylkaučuku

Rychlost degradace je výrazně pomalejší než u předchozích typů. Proto také pokles mechanických vlastností je pomalejší. Výborně odolávají ozónu a jsou vhodné i pro ztížené klimatické podmínky. Mezní teplota použitelnosti je +100 až +140 °C, bod ztuhnutí je -20 až -30 °C, bod křehkosti -45 až -50 °C.

Pryže z chloroprenového kaučuku

Fotooxidace je poměrně malá. Nejdříve dochází ke štěpení, později síťování a tím ke vzrůstu tvrdosti. Jsou vhodné i pro ztížené klimatické podmínky. Mezní teplotní použitelnost je +90 °C, bod ztuhnutí -10 až -30 °C, bod křehkosti -40 až -55 °C. Jsou odolné proti mikroorganismům.

Pryže z butadien-akrylonitrilového kaučuku

Dochází u nich k silné fotooxidaci, spojené s tvorbou trhlinek a sprašováním, které je tak intenzivní, že povrchové trhlinky překrývá. Mají malou odolnost proti ozónu a pro venkovní aplikace nejsou vhodné. Zejména velký pokles je v pevnosti v tahu a tažnosti. Při povrchovém znečištění živnými látkami mohou být napadány mikroorganismy. Mezní teplota použitelnosti je +90 °C, bod ztuhnutí je 0 °C až -3 °C, bod křehkosti -20 až -55 °C.

Pryže z polysulfidového (thiokolového) kaučuku

Jsou dobře odolné proti atmosférickému stárnutí a působení ozónu. Nejsou napadány mikroorganismy. Mezní teplota použitelnosti je +70 °C, bod ztuhnutí -25 °C a bod křehkosti -10 až -40 °C.

Pryže z polyuretanového kaučuku

Mají střední až malou odolnost proti atmosférickému stárnutí. Mezní teplota použitelnosti je +80 °C.

Pryže z chlor sulfonového polyetylenu

Vhodně pigmentované pryže se řadí mezi materiály nejlépe odolávající atmosférickému stárnutí a dobře snášejí sluneční záření. I po delší době (10 let) nedochází k významným změnám mechanických vlastností. Mezní teplota použitelnosti je +90 až 120 °C, bod ztuhnutí -35 °C a bod křehkosti -40 až -60 °C.

Pryže z fluorovaných polymerů

Patří mezi pryže nejodolnější proti působení klimatických vlivů. Změny mechanických vlastností jsou nepatrné. Mezní teplota použitelnosti +180 až 220 °C, bod ztuhnutí -5 až -35 °C, bod křehkosti -40 až -50 °C.

Silikonová pryž

Dobře odolává atmosférickému stárnutí. Nedochází u ní ke změně vzhledu ani podstatné změně mechanických vlastností. Mezní teplota použitelnosti je +180 °C, bod ztuhnutí -50 až -80 °C, bod křehkosti -70 až -100 °C.

2.2.3 Dřevo

V elektrotechnice nachází dřevo uplatnění hlavně jako obalový materiál. Tvrdé (bukové) dřevo se používá jako distanční vložky u vinutí vn olejových transformátorů.

Rozklad dřeva je způsobován hlavně rostlinnými a živočišnými škůdci. Plísně dřevo vážněji nepoškozují. Nejvážnější příčinou znehodnocování dřeva jsou dřevokazné houby, které rozkládají dřevní hmotu, mění její chemické složení a snižují pevnost dřeva. Při skladování napadá dřevo dřevokazný hmyz.

Vlhkost a její změny způsobují bobtnání a vysychání dřeva. Tyto změny jsou nejvýraznější mezi 25 až 33 % vlhkosti dřeva. Zvyšování vlhkosti do bodu nasycení snižuje pevnost dřeva. Dřevo, vystavené delší dobu teplotě větší než 105 °C, podléhá chemickým změnám.

Přirozená odolnost dřeva je i v mírném klimatickém pásmu nedostatečná. Je proto vhodné hotový výrobek a někdy i polotovár chránit fungicidní a insekticidní úpravou, příp. nátěrem.

2.2.4 Textilní materiály

Textilní vlákna a výrobky z nich se používají u strojírenských a elektrotechnických výrobků jako izolační materiály, ucpávky, krytiny, dekorační materiál apod. Výrobky z textilních vláken mají obdobné vlastnosti jako vlákna sama. Každé textilní vlákno má charakteristické chemické a fyzikálně mechanické vlastnosti. Odolnost a pevnost vláken je závislá na molekulové váze a prostorovém uspořádání molekul. Vhodnou kombinací jednotlivých druhů vláken, především ve formě stříží, se dosáhne výrazného zlepšení finálních výrobků.

2.2.4.1 Zásady pro používání textilních materiálů

Při vnějším použití se u textilních vláken škodlivě projevuje především sluneční záření vyvolávající fotooxidaci, která je u syntetických vláken provázena změnou chemické struktury, což má za následek další změny vlastností. Materiály mění vzhled, křehnou, tvrdnou a nebo se naopak stávají plastickými. Přírodní vlákna nejsou tak citlivá na působení slunečního záření.

Méně významný je vliv zvýšené nebo snížené teploty. Také vlhkost se na poškozování vláken příliš neprojevuje. Biologické vlivy jsou významné hlavně u celulózových vláken. Mimo závad vzhledových působí i ztráty mechanických vlastností vláken. Údaje o odolnosti proti biologickým vlivům jsou vodítkem především pro volbu vhodného materiálu pro vlhké tropy a jiná prostředí se zvýšenou vlhkostí.

2.2.4.2 Vlastnosti vybraných textilních vláken

Organická rostlinná vlákna celulózová (bavlna, len, konopí, juta) jsou za běžných klimatických podmínek stabilní. Vzhled vláken (lesk, odrazivost), druh použitých barviv a solí při zušlechťovacích procesech má vliv na fotooxidaci. Dlouhodobé působení suchých teplot do +60 °C je bez degradačního vlivu. Působení teplot vyšších než 110 °C způsobuje pokles mechanických vlastností. Při teplotách větších než 170 °C klesá podstatně pevnost v tahu. Při 60 °C a 95 % relativní vlhkosti dochází ke snížení pevnosti a tažnosti. Biologická destrukce bývá značná. Plísně napadají konce vláken a u upravených tkanin vegetují na zbytcích nevypraných škrobových šlicet. V neimpregnovaném stavu jsou v tropických a subtropických oblastech celulózová vlákna nepoužitelná.

Organická vlákna živočišného typu

Vlivem slunečního záření dochází u nich k barevným změnám, ztrátě pevnosti, lomu, tažnosti, pružnosti, plstnatění, přitom snadněji bobtnají. Tepelná odolnost do 50 °C je dobrá. Při teplotách nad 50 °C dochází ke ztrátě tvárnosti (100 °C), chemicky vázané vody (105 až 115 °C), hnědnutí a k úniku čpavku (120 °C), hnědnutí a úniku sirovodíku (nad 120 °C). Vlivem vlhkého tepla ztrácí vlna pevnost a stává se tvárnou. Vlna bývá častěji napadána bakteriemi než plísněmi. Nejchoulostivější jsou vlny s obsahem nečistot a apretací. Napadená vlna bledne. Napadení lze potlačit větráním nebo baktericidní úpravou. V neupraveném stavu jsou organická vlákna tohoto typu v tropických a subtropických oblastech nepoužitelná.

Organická vlákna živočišná typu hedvábí

Vlivem slunečního světla a stárnutím hedvábí žloutne a mírně ztrácí pevnost. Vliv tepla do 120 °C je nepatrný. Teprve nad 160 °C hedvábí hnědne a mění vlastnosti. Vliv vlhkosti není podstatný, avšak v součinnosti s plísněmi dochází k barevnému a později i mechanickému poškození hedvábí. V neupraveném stavu je hedvábí v tropických a subtropických oblastech nepoužitelné.

Anorganická vlákna

Anorganická vlákna na bázi azbestu jsou nehořlavá, mají dobré izolační vlastnosti, jsou odolná proti slunečnímu světlu, teplotě, vlhkosti i biologickým vlivům. Tento materiál se používá jako pomocný materiál pro výrobu těsnicích materiálů, brzdových obložení, filtrů, azbestových lepenek aj. Je to však karcinogenní materiál a od jeho používání se ustupuje. Skleněné vlákno je nehořlavé, odolné proti vyšším teplotám. Má dobré oděrové a izolační vlastnosti. Čedičové vlákno se používá jako izolační matriční náplň. Všechna tato vlákna jsou odolná proti teplotě, vlhkosti a biologickým vlivům, při aplikaci je však třeba zvážit možnost působení agresivních vodních výluhů.

Syntetická vlákna

Pro výrobu syntetických vláken se polymery upravují na potřebné vlastnosti. Proto se mohou vlastnosti vláken výrazně lišit, i když jde o polymer jednoho typu.

K degradaci polyamidových vláken dochází především působením UV záření. Neoddávají fotochemické oxidaci. Při zahřívání na 100 °C dochází u syntetických vláken k malému smrštění a poklesu pevnosti, na 120 °C k žloutnutí a hnědnutí, při teplotě 150 °C dochází k rozkladu. Poměrně dobře odolávají polyamidová vlákna nízkým teplotám do -50 °C. Odolnost proti mikroorganismům je snižena. Pro malou odolnost proti klimatickým vlivům se jejich používání doporučuje převážně jen pro vnitřní prostředí.

Polyesterová vlákna mají dobrou odolnost proti slunečnímu záření a klimatickým vlivům. Fotooxidační a tepelná destrukce probíhá rychleji za vlhka. Při teplotě 150 °C vlákno žlutne a pevnost klesá na polovinu. Tepelná destrukce nastává při 280 °C. Použitelnost při nízkých teplotách je do -60 °C. Polyesterová vlákna jsou odolná proti plísňovému napadení. Polyesterová vlákna se dají použít pro vnitřní i vnější prostředí.

Polyakrylonitrilová vlákna mají výbornou světelnou odolnost. Do 120 °C nebyly pozorovány změny v pevnosti. V oblasti nízkých teplot jsou vhodné až do -55 °C. Odolnost proti mikroorganismům je výborná. Ze syntetických vláken jsou nejodolnější proti klimatickým vlivům.

Polyetylenová a polypropylenová vlákna mají značnou absorpci záření v oblasti blízké UV části slunečního spektra. Tkaniny odolávají účinkům povětrnosti max. šest měsíců. Polyetylenová vlákna jsou poměrně pevná s teplotou měknutí 100 °C a teplotou tání 110 až 125 °C. Polypropylenové vlákno je stálé od -10 do +120 °C. Při 160 °C ztrácí vlákno mechanické vlastnosti. Vlákno není hygroskopické a je odolné proti plísním. Oba materiály jsou vhodné pouze pro vnitřní prostředí.

Polyvinylchloridová vlákna neodolávají slunečnímu záření. Při 65 °C měknou. Smrštění nastává při 70 °C. Nízké teploty snášejí tato vlákna max. do -20 °C. Odolnost proti plísním je dobrá. Používají se pouze pro vnitřní prostředí.

2.2.5 Elektrotechnické materiály

Pro elektrotechnické materiály, v zařízeních určených do ztížených provozních podmínek, platí obdobná pravidla jako pro plastové materiály. Zvýšenou pozornost u těchto materiálů je nutné věnovat změnám jejich vnitřních elektrických vlastností vlivem vlhkosti, příp. i zvýšení vodivosti povrchu. Pokud jde o korozní agresivitu atmosféry, většina elektroizolačních materiálů není znečištěnou atmosférou znehodnocována. Atmosférické nečistoty rozpuštěné ve zkondenzované vodě mohou ale na povrchu vytvářet vodivé cesty, způsobovat výboje a přeskoky.

Elektrotechnické materiály mají velmi často kompozitní (složenou) strukturu. Základním nosným materiálem jsou různé druhy termosetů nebo i termoplastů. K zlepšení jejich elektrických, mechanických nebo jiných vlastností se upravují buď práškovými nebo vláknitými plnivými (anorganickými nebo organickými). Anorganická prášková plniva zvyšují tepelnou vodivost, omezují smrštění při vytvrzování, zvyšují odolnost proti hoření a elektrickému oblouku, mají malou navlhavost a nasákavost a zvyšují odolnost proti tepelným rázům. Organická prášková plniva se aplikují převážně z důvodů snížení výrobních nákladů. Odolnost proti navlhavosti, nasákavosti a mikrobiálnímu napadení je u takto plněných materiálů menší. Vlákenná plniva zlepšují především mechanické vlastnosti. Podle způsobu orientace je u nich nutné uvažovat i anizotropii.

Pro klimatickou odolnost složených materiálů je rozhodující odolnost jejich základního matričního materiálu (především u materiálů s anorganickými plnivými). Organická plniva klimatickou odolnost vrstvených materiálů snižují. Pro vlhká prostředí jsou složené materiály s organickými plnivými nevhodné. Všechny vlastnosti složených materiálů jsou určovány již při výrobě jejich složením a způsobem zpracování. Pro zajištění klimatické odolnosti je proto rozhodující správný výběr vhodného typu materiálu.

2.2.5.1 Vrstvené materiály

Odolnost desek z tvrzeného papíru (kartitu) závisí na obsahu pojiva (vzrůstá se stoupajícím obsahem). Podle složení odolávají teplotě -140 až +120 °C, vlhkosti do 80 %, termitům, kyselým solím, slabým kyselinám, alifatickým a aromatickým uhlovodíkům. Jako izolant do vyšší vlhkosti lze užít jen hmoty s vysokým obsahem pryskyřice. Pro zvýšení klimatické odolnosti do vlhkých prostředí se provádí lakování řezných hran nebo vakuová impregnace výrobku.

Tepelná odolnost sklotextitových desek je mezi -140 až +180 °C. Dají se použít do prostředí s vlhkostí 90 až 100 %. Vykazují vyšší odolnost vůči slunečnímu záření, průmyslovému znečištění a plísním než materiály z tvrzeného papíru.

2.2.5.2 Lisovací hmoty

Klimatická odolnost fenolických lisovacích hmot závisí na druhu a obsahu plniva. Pryskyřice sama nebo plněná nenavlhavým plnivem je navlhavá velmi nepatrně. Fenolická lisovací hmota s organickým plnivem odolává teplotě -30 až +100 °C, s anorganickým plnivem -60 až +120 °C.

Materiály plněné navlhavými plnivy (dřevitou moučkou, bavlněnými ostřížky, osinkem apod.) ve vlhku bobtnají, jsou napadány mikroorganismy a jejich elektrické vlastnosti se zhoršují. Stykem s kovy stimulují korozi. V suchém teple se smršťují a může dojít i k mechanickému porušení výlisku. Při nízkých teplotách se elektrické vlastnosti nezhoršují. U materiálů plněných navlhavými plnivy nastává vysoušení a zhoršení odolnosti proti rázovému namáhání.

Pryskyřice plněné dřevitou moučkou z tvrdých dřev, předem sušenou a impregnovanou, mají vyšší odolnost proti vlhkosti a mohou se použít jako izolační materiály pro méně náročné účely (malé a nízké napětí). Hmoty plněné měkkou dřevitou moučkou nebo textilem se nedoporučují použít do vlhkých prostředí ani jako konstrukční materiál. Hmoty s plnivem obsahujícími křemík (zejména skleněná vlákna, mletý křemen) nejsou vhodné do prostředí obsahující fluor a jeho sloučeniny.

2.2.5.3 Impregnační a elektroizolační hmoty

Elektrotechnika používá celou řadu elektroizolačních a impregnačních nátěrových hmot. Vypalovací impregnační hmoty (alkydové a fenolické pryskyřice v organických rozpouštědlech) odolávají teplotě -60 až +130 °C. Jsou vhodné do prostředí s vysokou vlhkostí a středně znečištěnou atmosférou. Neodolávají přímému vlivu povětrnosti a silně oxidačním atmosférám.

Opravařský olejový elektroizolační lak (modifikovaný roztok pryskyřic na bázi kalafuny a upravených rostlinných olejů) je vhodný do prostředí -30 až +105 °C, relativní vlhkosti do 80 %. Neodolává vysoké relativní vlhkosti vzduchu a plísním.

Pro nátěr povrchu impregnovaných částí točivých strojů a součástí, které nejsou mechanicky namáhané se používají asfaltové elektroizolační laky. Ty odolávají teplotě -30 až +100 °C, zvýšené vlhkosti středně znečištěným atmosférám.

2.2.5.4 Lepenky a drážkové izolace

Tepelná odolnost těchto materiálů je dána tepelnou třídou materiálu. Většinou neodolávají vlhkosti, chemickému znečištění, biologickým činitelům. V dodaném stavu není žádný materiál použitelný pro ztížené podmínky. Materiály mohou být použity do jakéhokoliv prostředí jen tehdy, jestliže jsou v izolačním oleji, v sestavách, které se hermeticky těsní zaléváním do např. epoxidů. Mohou být použity v kombinovaných drážkových izolacích nebo prokladech, kde izolaci tvoří PETP či jiná folie z nenavlhavého materiálu. Přitom se předpokládá kvalitní impregnace. V případě skladování za zvýšené vlhkosti a ve znečištěném prostředí musí být tento materiál chráněn. Po zpracování v prostředí se zvýšenou vlhkostí je nutno výrobky před zalitím nebo impregnací pečlivě vysušit. Zpracovávat lze materiály z lepenky pokud možno v suchých prostorách (v prostředích s relativní vlhkostí do 60 %).

2.2.5.5 Lakované tkaniny a papíry

Odolnost proti teplotě lakovaných tkanin a papírů určuje tepelná třída. Neodolávají vlhkosti, slunečnímu záření, mikroorganismům, chemickému znečištění. Do vlhkých prostředí lze použít tento materiál jen výjimečně jako proklad dokonale impregnovaného vinutí. Odolnost lze zvýšit povrchovým lakem (impregnací nebo zalitím). Do náročnějších prostředí je nutná dodatečná ochrana.

2.2.5.6 Azbestové materiály

Azbesto-celulósová lepenka odolává teplotám až 600 °C. Dobře snáší vysoké tlaky, je však značně navlhavá. Azbestové těsnicí a tepelně izolační materiály jsou vhodné do teplot 400 °C. Azbesto-polymerní materiály jsou vhodné do teplot až 450 °C. Odolávají vodě, vodní páře, minerálním olejům, lihu, acetonu, tukům a mazadlům. Z ekologických důvodů se od materiálů na bázi azbestu ustupuje.

Základní literatura k problematice volby materiálů do ztížených provozních podmínek [2], [5], [7], [8].

III. Volba povrchových ochran

Povrchové úpravy jsou jednou z hlavních možností při řešení protikorozních opatření. Na obecné úrovni lze pro výběr druhu povrchové úpravy dát pouze rámcové informace. Při volbě povrchové úpravy musí být zvažovány faktory, které výběr vhodné povrchové úpravy více či méně ovlivňují. Jsou to:

- klimatické a provozní podmínky, za nichž bude výrobek provozován,
- druh kovového materiálu výrobku,
- požadavek na životnost povrchové ochrany,
- funkční požadavky kladené na výrobek,
- konstrukční řešení výrobku,
- technologie povrchové úpravy včetně přípravy povrchu,
- možné negativní důsledky povrchové úpravy,
- požadavky na kontrolu jakosti povlaku,
- ekologie a ekonomie.

Rozhodující úlohu hraje agresivita prostředí. Ta však není jediným činitelem určujícím konečný výběr. Důležitá je tloušťka povlaku, druh systému apod.

Důvodem pro povrchovou úpravu výrobku nemusí být jen snaha zamezit nadměrným hmotnostním úbytkům, vyvolaných korozi. Často je nutno předejít nežádoucím změnám vlastností povrchu, např. vzhledu, elektrického odporu apod. Obvykle tyto změny představují zanedbatelné úbytky. Je proto třeba zvážit všechny nežádoucí změny, které může prostředí určité agresivity u kovu vyvolat a teprve potom zvolit určitý typ povrchové ochrany.

Dále je třeba rozhodnout, jaký ochranný povlak je možno na daném materiálu výrobku zhotovit bez zvláštních opatření. Tak např. smaltování či difúzní chromování vyžaduje ocel určitých vlastností. Ne každá slitina hliníku je vhodná pro anodickou oxidaci. U vysokopevnostních ocelí nebo pružinových materiálů mohou některé přípravné operace pro elektrolytické pokovování zhoršit nežádoucím způsobem mechanické vlastnosti.

Při úvaze, zda povlak splňuje požadavek kladený na jeho životnost, je třeba nejprve vymežit kritéria, podle nichž bude životnost posuzována. Kritéria životnosti se u jednotlivých druhů povlaků liší. Např. u ozdobně ochranných povlaků typu (Cu)-Ni-Cr se většinou jako rozhodující hodnotí objevení korozních zplodin základního kovu, případně ztráta přilnavosti. Je však nezbytné přesně stanovit, jaký rozsah poškození povlaku je považován za limitující. U zinkových a kadmiových povlaků, které chrání katodicky, není zase naopak možné určovat životnost povlaku na základě výskytu korozních zplodin. Někdy je důležitý charakter korozních zplodin, neboť jejich objemné a nepřilnavé vrstvy mohou ovlivnit i funkčnost výrobku.

U povlaků je podstatné, k jakému účelu mají povlaky sloužit. U ocelových konstrukcí, kde je hlavní funkcí organického povlaku ochrana proti korozi, se považuje za hranici životnosti stav, kdy na povrchu konstrukce vzniká na 10 % plochy rez. Naopak u strojírenských a elektrotechnických výrobků, kde je zachování vzhledu a barevného odstínu nátěru složkou designu, mohou být kritériem životnosti jeho vzhledové změny.

V některých případech má povrchová úprava ochrannou i ozdobnou funkci (povlaky se označují jako ozdobně-ochranné). Typickým příkladem jsou elektrolyticky vylučované povlaky (Cu)-Ni-Cr. Kromě ochranných a ozdobných vlastností se často požadují *antifrikční* funkce povlaku. Tento požadavek splňují např. tvrdé chromové a některé slitinové povlaky. Také tzv. tvrdé eloxování plní spíše fyzikální než ochrannou či ozdobnou funkci. Některé typy konverzních povlaků slouží jako izolační vrstvy nebo ke snížení vlečného tření po sobě se pohybujících součástí (např. pro rychlejší zabíhání ozubených kol v převodovkách). Častým funkčním požadavkem kladeným na povlak je např. usnadnění pájitelnosti (cínové povlaky na mědi), zachování nízkého přechodového elektrického odporu (rhodiování nebo zlacení stříbra). Ve všech případech funkční požadavky ovlivňují nejen volbu povlaku, ale i kriteria pro určování životnosti povlaku při určitém klimatickém namáhání.

Významným faktorem, ovlivňujícím optimální provedení povlaku, je konstrukční řešení výrobku. Výrobek by měl být navržen tak, aby tvar jednotlivých dílů, sled a způsob jejich spojování co nejvíce odpovídal požadavkům příslušné technologie povrchové úpravy (*technologičnost konstrukce*). Tak např. operace, při nichž přichází povrch kovu do styku s kapalným, často velmi agresivním médiem, vyžadují zvlášť pečlivé konstrukční řešení upravovaných dílů. Tvarové řešení dílu s ohledem na tzv. "mokrý proces" musí umožnit rovnoměrný přístup lázně k celému povrchu a následně pak dokonalý oplach k odstranění jejích zbytků z povrchu. Tvarově složité díly, spáry, kapsy apod. nesmí vytvářet prostory, kde dochází k zachycování agresivního media.

Stejně důležité je i správné zařazení technologických operací povrchové úpravy do celkového sledu výrobních operací tak, aby se daly snadno provést. Upravované povrchy by měly být dobře přístupné a naopak, povrchová úprava by neměla zatěžovat nebo znemožňovat další výrobní operace (např. svařování). Ne vždy je ale možné pro výrobek zvolit takové konstrukční řešení a sled výrobních operací, jaké by vyžadovala zamýšlená povrchová úprava. V těchto případech je naopak třeba z možných povrchových úprav a technologií vybrat takové, pro něž lze potřebnou technologičnost konstrukce a výrobní postup zajistit.

Požadovanou kvalitu povrchové úpravy je třeba zabezpečit důslednou kontrolou i během jednotlivých technologických operací. Pokud by tvar výrobku tuto kontrolu neumožňoval, zejména v kritických místech (vnitřní stěny trubek malých světlostí, těžko přístupná místa apod.), je už samotná povrchová úprava pochybná.

O volbě povrchové ochrany rozhoduje i ekonomický rozbor. Ten se provádí vždy ve vazbě na požadovanou životnost povlaku, přičemž platí zásada, že životnost posuzované povrchové úpravy nemá být větší než technický život výrobku. Jako optimální lze považovat stav, kdy povrchová ochrana, provedená dílensky, nepotřebuje po celou dobu života výrobku údržbu nebo opravu. Prvotní náklady na provedení takovéto ochrany bývají obvykle vyšší než u ochrany, u nichž se předpokládá obnova povlaku. Objektivní ekonomický rozbor však velmi často ukáže, že skutečné náklady za celou dobu technického života výrobku jsou většinou mnohem nižší při dílenském zhotovení kvalitnějšího povlaku se sníženými nároky na údržbu.

Technologie povrchových úprav jsou obecně jedním z výrazných průmyslových zdrojů znečištění životního prostředí (emise do ovzduší, VOC, TZL, výpary kyselin), do vod (odpadní oplachové vody, vyčerpané lázně), do půd (úkapy, úniky, atd.) a vznik nebezpečných odpadů (galvanické kaly, přestříky, obaly chemikálií, atd.). V současnosti je proto kladen velký důraz na maximální možnou prevenci znečištění životního prostředí, což

pro povrchové úpravy znamená např. minimalizovat koncentrace těžkých kovů ve funkčních i oplachových lázních.

3.1 Ochrana kovovými povlaky

3.1.1 Povlaky vyloučené elektrolyticky

Při vytváření kovových povlaků elektrolytickým procesem je nutné dodržet určité konstrukční a technologické zásady:

- Ostré hrany a rohy jsou pro elektrolytické pokovování nevhodné (čím je poloměr zaoblení větší, tím je povlak rovnoměrnější).
- Vypouklé plochy jsou pro pokovování příznivější než rovné nebo vyduté.
- Zcela nevhodné jsou ostré výstupky a dutiny, především při pokovování na závěsu.
- Jestliže se mají na závěsech pokovovat díly s dutinami a nelze-li zajistit takový způsob jejich zavěšení a manipulace s nimi, aby nedocházelo k vynášení lázně v dutinách nebo ke vzniku plynových polštářů u dna dutin, doporučuje se opatřit dutiny technologickým otvorem o průměru nejméně 4 mm.
- Při volbě způsobu uchycení pokovovaných dílů na závěsu je třeba počítat s tím, že v místech zavěšení a přívodu elektrického proudu bude tloušťka minimální, popř. se povlak vůbec nevyloučí.

Druh povlaku	Stupeň jakosti	Stupeň agresivity atmosféry							
		C1		C2		C3		C4	
		kritérium ⁸		kritérium		kritérium		kritérium	
	a	b	a	b	a	b	a	b	
zinkové a kadmiové	I	10	20	1	10	X	4	X	1-2
	II	10	25	1	20	X	8	X	3-4
	III	10	30	1	30	X	12	X	5-10
	IV	10	>30	1	>30	X	20	X	10-15
	I	10	10	1	1-3	X	X	X	X
	II	10	20	1	10	1	1-2	X	X
	III	10	>20	1	20	1	2-5	X	2
Ni-Cr	I	10	10	5	5-10	X	1	X	X
	II	15	20	5-10	15	X	2-3	X	1-2
	III	15-20	20-25	10-15	20	3	5	1	2-3
	IV	20	25	15-20	20-25	3-5	5-8	1-3	3-5
cínové	I	5	5	X	1	X	X	X	X
	II	10	10	5	10	X	1	X	X
	III	10	20	10	15	5	10	X	3-5
	IV	15	25	15	20	5-10	15	3-5	10

Tab.13 Směrný technický život (v rocích) elektrolyticky vyloučených povlaků na oceli (kromě korozivzdorných ocelí tř. 17), mědi, hliníku, zinku a jejich slitinách.⁹ [5]

⁸ a – pravděpodobná doba do vzniku pevných korozních zplodin, b – pravděpodobná doba do prokorodování povlaku

⁹ U mědi a jejích slitin s obsahem Cu od 50 % se při kritériu b stanoví směrný technický život povlaků Ni, Ni-Cr a Sn vynásobením tabulkové hodnoty koeficientem 1,5.

3.1.1.1 Zinkové a kadmiové povlaky

Pro ocelové výrobky, hlavně drobnější, které svým tvarem umožňují aplikovat povlak požadované jakosti, jsou vhodné zinkové a kadmiové povlaky¹⁰ vyloučené elektrolyticky. Ochranná účinnost těchto povlaků je dostatečná ve většině typů atmosfér. Chrání ocel katodicky i v místech pórů nebo poškození. Povlaky vyloučené z leskle pracující lázně mohou plnit i ozdobnou funkci. Vzhled povlaků lze zlepšit chromátováním.

Chromátováním vznikají na zinkových a kadmiových povlacích, dle druhu lázně, buď bezbarvé vrstvy s namodralým odstínem (u kadmiových nažloutlé) v tloušťce do 1,5 μm nebo v různých barvách, např. zelenohnědé, černé, které jsou tlustší a odolnější. Tenké chromátové vrstvy se používají jako podklad pod nátěry. Samy o sobě oddalují především počátek vzniku korozních zplodin, čímž prodlužují funkční způsobilost některých výrobků (např. pozinkovaného spojovacího materiálu, zinkových povlaků, které mají plnit i ozdobnou funkci apod.). Na dlouhodobé hmotnostní úbytky zinkových nebo kadmiových povlaků však nemá chromátování podstatnější vliv. Výjimkou jsou některé agresivnější průmyslové atmosféry. V nich však bývá životnost chromátovaných povlaků poměrně krátká. Proto se pro tato prostředí zinkové a kadmiové povlaky nedoporučují.

Do vnějších i vnitřních průmyslových atmosfér, kde se v rozhodující míře uplatňuje korozně oxid siřičitý resp. jiné sírné sloučeniny (sulfony), se doporučují zinkové povlaky. V přímořských oblastech je korozní odolnost kadmiových povlaků stejná jako chromátovaných zinkových povlaků. Korozní odolnost kadmiových povlaků v prostředí s obsahem chloridových iontů není ve srovnání se zinkovými výrazně lepší. Kadmiové povlaky jsou vhodnější pro vnitřní klimata (krytoklimata), kde často dochází ke kondenzacím nebo dlouhodobějšímu působení nadkritické vlhkosti, pomalejšímu vysychání apod. Jsou vhodnější i v případech, kdy z funkčních důvodů vadí objemné korozní zplodiny (elektrotechnika, rozebíratelnost spojů). Kadmiové povlaky jsou dražší a proti jejich používání jsou hlavně ekologické důvody. Proto je třeba jejich použití omezit jen na ty případy, kdy požadované funkční vlastnosti nelze splnit jiným povlakem. Možnou náhradou jsou speciální laky nebo slitinové povlaky.

3.1.1.2 Niklové povlaky

Niklové povlaky se většinou vylučují na měděnou mezivrstvu, která snižuje negativní vliv heterogenity povrchu kovu na jakost povlaku. Tyto povlaky jsou označovány jako (Cu)-Ni povlaky.

Niklové povlaky jsou vhodné hlavně pro drobnější výrobky z oceli, mědi, hliníku, zinku a jejich slitin, které svým tvarem umožňují dosáhnout požadované jakosti povlaků. Účelné využití těchto povlaků je hlavně v agresivních atmosférách, kde se vedle zachování dobrého vzhledu kladou na povrch ještě jiné funkční požadavky (např. zachování dobré elektrické vodivosti).

Ve vnitřních prostředích a v méně znečištěných atmosférách vykazují niklové povlaky dobrou odolnost bez výraznějších vzhledových změn. V průmyslových atmosférách dochází na těchto povlacích ke vzniku tmavých či jinak zbarvených korozních zplodin. Je u nich také zvýšené

¹⁰ Kadmiové povlaky patří mezi ekologicky závadné způsoby povrchové ochrany.

nebezpečí koroze podkladového kovu. To snižuje použitelnost niklových povlaků. Z leskle pracujících lázní lze vylučovat lesklé povlaky bez mechanického leštění. Vyšší ochrannou účinnost mají dvojité nebo trojitě povlaky (duplexní, triplexní).

Kvalita niklového povlaku značně závisí na přípravě povrchu. Důležité je dodržet obecné zásady platné pro elektrolytické pokovování.

3.1.1.3 Ozdobné ochranné povlaky (měď) - nikl – chrom

Pro výrobky z oceli, mědi, hliníku, zinku a jejich slitin v případech, kdy se vedle protikorozi ochrany vyžaduje i dlouhodobé zachování vzhledu, se používají ozdobné ochranné povlaky (měď) - nikl – chrom. Ve většině typů atmosfér mají povlaky tohoto typu velmi dobrou korozní odolnost při zachování ozdobné funkce. Podmínkou je dostatečná tloušťka povlaku. U slabších tloušťek se mohou vyskytovat póry a v nich může docházet ke korozi podkladového kovu. Ochranná účinnost systému se zvyšuje použitím dvojitých nebo trojitých niklových povlaků a mikrotrhlinkových nebo mikropórovitých chromových povlaků. Vrstva mědi snižuje především vliv heterogenity povrchu na jakost povlaku.

Rozhodujícím znakem jakosti ozdobně ochranných povlaků je tloušťka povlakového systému. Pro méně náročné podmínky může být v povlakovém systému nahrazena vrstva niklu slitinovým povlakem nikl-železa (obsah Fe \leq 30 %). Tento slitinový povlak má lepší tažnost a krycí schopnost než niklový povlak.

Povlakový kov	Obvyklá tloušťka (μm)	Tvrdość podle Vickerse	Odolnost proti oděru	Přilnavost	Polarita vůči oceli na atmosféře
zinek	2 - 50	40 - 50	malá	velmi dobrá	anodický
kadmium	3 - 30	15 - 50	dostí dobrá	dobrá	slabě anodický
cín	1 - 12	8 - 9	malá	dobrá	slabě katodický
měď	5 - 75	40 - 170	malá	velmi dobrá	katodický
bronz	12	270 - 320	dobrá	velmi dobrá	katodický
nikl	2 - 50	130 - 570	velmi dobrá	velmi dobrá	katodický
chrom	0,3 - 1	310 - 1050	velmi dobrá	velmi dobrá	katodický
stříbro	0,2 - 25	50 - 300	dobrá	dobrá	katodický
zlato	0,05 - 50	65 - 115	malá	velmi dobrá	katodický

Tab.14 Některé technicky důležité vlastnosti elektrolytický vyloučených povlaků [5]

3.1.1.4 Měděné povlaky

Slouží zejména jako mezivrstva pod jiné povlaky, výjimečně mohou fungovat pro výhodné elektrické charakteristiky jako konečná vrstva. Mají malou ochrannou účinnost, zejména za přítomnosti sirných sloučenin. V elektrotechnice je nutné počítat s tím, že na nich snadno vznikají málo vodivé korozní zplodiny. Ochrannou účinnost lze zvýšit pasivací a transparentním nátěrem.

3.1.1.5 Chromové povlaky

Vynikají vysokou tvrdostí a odolností proti otěru (tzv. tvrdé chromování). Mají výhodný koeficient tření. Tvrdě lze chromovat i hliník. Funkci protikorozní ochrany mohou spolu s hlavními požadavky plnit pouze vrstvy tloušťky nad 40 μm . Pokud je třeba zajistit i odolnost proti korozi, je výhodnější matné chromování. Pomocí této technologie se vytvoří povlak méně pórovitý a měkký. Jeho odolnost proti opotřebení je dokonce vyšší než u tzv. tvrdého chromu. Ve speciálních případech (u různých optických a měřicích přístrojů) se může vhodně uplatnit černé chromování. Proti normálnímu chromovému povlaku má černý chromový povlak poněkud nižší korozní odolnost.

3.1.1.6 Cínové povlaky

Jako ochrana proti atmosférické korozi mají vzhledem k deficitnosti cínu tyto povlaky jen nepatrný význam. Proti atmosférické korozi chrání jen ve větších tloušťkách nebo v málo agresivních podmínkách (nebezpečí koroze v pórech). Uplatňují se především v elektrotechnice (pájení, cínování plošných spojů). Výborně se pájí i po delší době po zhotovení (postačuje tloušťka 3 - 5 μm). Ojedinele se používají k ochraně závitů (lepší rozebíratelnost).

3.1.1.7 Slitinové povlaky Zn-Sn

Mají vyšší odolnost než zinkové povlaky (chrání rovněž elektrochemicky). Dobře se pájí, bodové sváry jsou dostatečně pevné, dobře odolávají mořské a průmyslové atmosféře. Slitinové povlaky jsou možnou náhradou cínových a kadmiových povlaků.

3.1.1.8 Slitinové povlaky Pb-Sn

Jsou velmi odolné i v těžkých korozních podmínkách. Dobře se pájí a mají výborné kluzné vlastnosti.

3.1.1.9 Stříbrné povlaky

Jsou relativně měkké. Za přítomnosti sirných sloučenin se však rychle pokrývají málo vodivou tmavou vrstvou korozních zplodin. Pro elektrotechnické účely se většinou vylučují v tloušťce do 10 - 15 μm . Spolehlivost kontaktů ze stříbra je třeba zajistit povlakem zlata nebo rhodia. Pokud se nevyžaduje elektrická vodivost, mohou se stříbrné povlaky chránit proti černání pasivací a transparentním nátěrem. Povlaky vyloučené z leskle stříbřící lázně obsahují asi 3 % Sb, jsou tvrdší ($H_v = 140$, u matných $H_v = 70$). Hodí se pro stříbření kontaktů.

3.1.1.10 Zlaté povlaky

Jsou měkké a korozně inertní. Při používaných minimálních tloušťkách jsou však značně pórovité. Vytvářejí se na mosazi, mědi, stříbrném nebo postříbřeném povrchu. Tvrdší a odolnější proti opotřebení jsou povlaky ze slitiny zlata.

3.1.1.11 Rhodiové povlaky

Jsou vysoce lesklé a tvrdé (tvrdostí se řadí hned za chromové). V atmosféře nemění vzhled ani za přítomnosti siřných sloučenin. Vylučují se na stříbrné, postříbřené, poniklované nebo pozlacené výrobky v tloušťce 0,5 - 2 μm . Výjimečně při požadavku dlouhodobé spolehlivosti v těžkých korozních podmínkách (např. kontakty signalizačních zařízení v dolech a chemickém průmyslu) mohou být tloušťky i větší.

3.1.2 Povlaky vytvořené metalizací

Žárovým nástřikem plynovými nebo elektrickými pistolemi lze vytvářet povlaky z nejrůznějších kovových materiálů. Povlaky tohoto typu mohou sloužit jako ochrana proti korozi, vyšším teplotám a opotřebením. Z hlediska ochrany proti atmosférické korozi mají největší význam povlaky ze zinku a hliníku.

V běžných případech zajišťuje metalizace při předepsaných tloušťkách povlaků dlouhodobou ochranu bez nutnosti obnovy. Jsou-li požadavky na vzhled, je možné povlaky opatřit nátěrem, který prodlužuje životnost ochranného systému minimálně na dvojnásobek.

Stupeň korozní agresivity atmosféry	Druh povlaku	Životnost povlaku (roky)		
		10	30	50
středně agresivní	met Al	120 P	160	200
	elmet Al	80 P	120	160
	met Zn	120	160	200
silně agresivní	met Al	160 P	200	250
	elmet Al	120 P	160 P	200
	met Zn	160 L	200 L	-
velmi silně agresivní	MetAl	160 L	200 L	250 L
	elmet Al	120 L	160 L	200 L
	met Zn	200 L	-	-

Tab.15 Minimální tloušťky a životnost metalizovaných povlaků¹¹ [5]

Ve většině případů jsou hliníkové povlaky vhodnější než zinkové. Směrné doby technického života různých povlakových variant jsou uvedeny v tab.15. Pro zajištění požadované životnosti je nutné dodržet určité technologické zásady.

Metalizovat lze pouze povrchy s tloušťkou stěny min. 3 mm (s výjimkou některých tvarově zpevněných profilů). Chráněné povrchy by měly být před metalizací otryskány. Hrany upravovaného povrchu se doporučuje srazit pod úhlem $\geq 45^\circ$ nebo zaoblit $r \geq 1\text{mm}$. Všechny sváry musí být průběžné nebo celoobvodové. Místo přeplátovaných spojů se doporučují sváry na tupo. Svařování metalizovaných dílů je prakticky vyloučené. Nepřípustné jsou přeplátované spoje s jednostrannými sváry a nýtované spoje s neutěsněným obvodem hlav nýtů.

¹¹ met – plynová metalizace, elmet – elektrická metalizace. P – povlak s jednou vrstvou nátěru nanesený na suchý a čistý povrch, L- povlak s dvou nebo vícevrstevnými nátěry

3.1.3 Povlaky vytvořené ponorem do taveniny

Povlaky vytvořené ponorem do taveniny jsou vhodné pro dlouhodobou ochranu výrobků z oceli tř. 10, 11, 12 a litiny (obvykle s požadovanou životností nad 10 let, tab.16). U jiných ocelí nutno vhodnost žárového zinkování ověřit. Povlaky tlustší než 160 μm lze vytvořit pouze na oceli s obsahem křemíku nad 0,2 %, u ocelí tř. 10, 11 a 12 pouze na otryskaném povrchu.

Tloušťka povlaku (μm)	Stupeň korozní agresivity atmosféry		
	C3	C4	C5
20	10	5	2,5
40	20	10	5
60	30	15	7,5
80	40	20	10
100	50	25	12,5
120	60	30	15
140	70	35	17,5
160	80	40	20

Tab.16 Směrné hodnoty minimální životnosti zinkových povlaků (roky) [5]

Při obvyklých tloušťkách je životnost povlaku dána v podstatě rychlostí koroze zinku. Pro náročné podmínky nebo při požadavku na vzhled lze zinkový povlak doplnit vhodným nátěrem. Jako příprava povrchu pod nátěr se doporučuje chromátování, fosfatizace, silikátování. Rozhodujícím znakem jakosti je tloušťka povlaku. Volí se podle předpokládaného korozního namáhání a požadavků na životnost. Tloušťky povlaku doporučené pro některé druhy výrobků s přihlédnutím k jejich hmotnosti a tvaru uvádí tab.17.

Použitelnost žárového zinkování a vytvoření jakostního povlaku je podmíněné dodržováním některých zásad. Tvar pokovované součásti je třeba navrhovat s ohledem na hydrodynamiku kapalin, do nichž jsou součásti vnášeny. Při ponoru se nesmí vytvářet vzduchové polštáře a naopak při vynořování nesmí docházet k "nabírání" lázně tekutého zinku. Stykově překryté plochy se nepokoví.

Konstrukční materiály	a) tyče profily I, U, L, T ploché, kruhové, čtvercové, Jäckelovy otevřené profily apod.	1
	b) desky široká ocel, tenké a tlusté plechy, žebrované plechy	2
	c) trubky od průměru 10 mm, svařované, bezešvé, žebrované, Jäckelovy profily	1
	d) dráty	0
	e) pásy a plechy z nich	0
Konstrukční díly jednoduché	a) přímé tyče s otvory a krátkými návarky	1
	b) oblouky a lomené tyče	3
	c) rámy	3
	d) desky a rošty	2
	e) spojovací součásti	0
	f) drobné díly, např. spojovací desky, třmeny, kladky	4

Konstrukční díly složité	a) přímé tyče s vybočujícími konzolami, patkami a přírubami	2
	b) části potrubí s odbočkami a přírubami	2
	c) vazníky, sloupy, stožárové díly	2-3
	d) dutá tělesa zinkovaná pouze zvenčí	3
	e) svařence s hladkými funkčními plochami	3
Konstrukční celky	a) výměníky	3
	b) stožáry	3
	c) nádrže	3
Klasifikační kódy:		
1 - vhodné, rozhodujícím rozměrem je délka		
2 - vhodné, rozhodujícím rozměrem je délka a šířka		
3 - nevýhodné, zvláště při nízké sériovosti		
4 - výhodné jen u malých zinkovacích van		
0 - vyžaduje speciální zinkovnu		

Tab.17 Rozdělení ocelových výrobků z hlediska efektivního využití lázně při žárovém zinkování [5]

U složitých součástí je třeba počítat s deformacemi vlivem zahřátí na 460 °C, popř. nerovnoměrným ochlazováním na normální teplotu. Sváry musí být mechanicky zbaveny strusky a okují (broušením, oklepáním, kartáčováním). Závity se musí vždy po zinkování dodatečně řezat. Zinkování dutých těles, zcela uzavřených, je nepřijatelné pro nebezpečí exploze. Pokud se navrhuje součásti jako dutá tělesa, je nutné zajistit jejich spolehlivé odzdušnění a plynulé ponoření do zinkovací lázně.

Žárovým způsobem lze vytvářet těž slitinové povlaky Zn-Al (obsahují 55 % Al a 1,6 % Si), které mají podstatně vyšší korozní odolnost, projevující se několikanásobně vyšší životností zejména v průmyslové atmosféře a v přímořských oblastech. Střížné hrany chrání katodicky stejně jako zinkové povlaky. Vzhledem k vyšší korozní odolnosti není ve většině případů zapotřebí další ochrana nátěry.

3.1.4 Další technologie vytváření kovových povlaků

3.1.4.1 Termochemické chromování (inchromování)

Termochemické chromování je vhodné pro drobné součástky (spojovací materiál apod.), určené do agresivnějších podmínek. Korozně odolné vrstvy se získají u ocelí 12 020 Ti a speciálních ocelí řady Inchrom, příp. i u ocelí 12 011 a 12 013. Odolnost je výborná ve většině typů atmosfér. Z ekonomických důvodů je termochemické chromování neúčelné v málo znečištěných atmosférách. V agresivnějších atmosférách nedochází do pěti let k významnějšímu koroznímu napadení povrchu. Rozsah napadení za delší dobu závisí na agresivitě podmínek a kvalitě (tloušťce) vrstvy.

Rozhodujícím znakem jakosti je tloušťka vrstvy. Pro zvlášť silně agresivní atmosféry má být minimálně 60 μm. Při požadavku dlouhodobé životnosti by měla být tloušťka nad 100 μm. Jakost vrstvy značně závisí na druhu oceli, stavu povrchu a dodržení podmínek procesu.

Termochemické chromování se vzhledem k nákladnosti uplatňuje především jako ochrana strojních součástí proti kombinovanému namáhání, např. korozi a třením. Během

technologického procesu dochází k rozměrovým změnám. Jelikož jsou však menší než polovina vzniklé tloušťky vrstvy, jsou pro většinu aplikací tyto změny zanedbatelné (s výjimkou šroubů). Vlivem vysokých teplot během procesu (kolem 1 000 °C) dochází i k snížení pevnosti materiálu, a to tím více, čím větší je obsah uhlíku v materiálu (u ocelí do 0,08 % C asi o 3 % a u ocelí od 0,09 do 0,2 % C asi o 7 - 15 %). K zlepšení mechanických vlastností inchromovaného materiálu je možné dodatečné tepelné zpracování součástí v ochranné atmosféře. U vysokopevnostních šroubů, které se ponejvíce vyrábějí z ocelí tř. 12, 14 a 15, nelze zajistit požadované mechanické vlastnosti.

Obdobou povrchového legování materiálu je implantace iontů do povrchu materiálu. Proces je principem odlišný od inchromování. Povrchovým legováním se dosahuje menších tloušťek vrstev. Zároveň tento proces umožňuje zušlechťovat povrch různými prvky a dosáhnout tak specifických vlastností materiálu, které nelze získat hutnickým způsobem. Povrchové legování se uplatňuje především jako funkční úprava povrchu.

3.1.4.2 Pokovování ve vakuu

Jednou z nejprogresivnějších povrchových technologií je pokovování ve vakuu (PVD)¹². Napařováním ve vakuu lze vytvářet širokou paletu kovových i nekovových povlaků v různých kombinacích, vzájemně prodifundovaných nebo tepelným zpracováním nadifundovaných do základního materiálu, kompozitní povlaky odpařováním kovů s polymery ze dvou zdrojů, povlaky na papíru, sklu a různých jiných nekovových materiálech.

Pokovováním ve vakuu se vytváří např. povlaky zinku na drobných ocelových součástech (pružiny, spojovací materiál apod.). Při vlastním procesu nedochází k zhoršení mechanických vlastností materiálu. Povlaky jsou rovnoměrnější, méně pórovité a ve většině atmosfér mají vyšší ochrannou účinnost než povlaky vyloučené elektrolyticky stejné tloušťky. Lze je upravovat chromátováním, popř. opatřit nátěrem. Rozhodujícím znakem jakosti je tloušťka povlaků. Při ochraně pružin se používá odstupňovaných tloušťek 5 - 10 - 15 - 20 μm.

3.1.4.3 Povlaky vyloučené bezproudově

Pro výrobky z oceli, litiny, mědi, mosazi, hliníku a jeho slitin lze použít povlaky vyloučené bezproudově. Povlaky jsou výhodné zejména pro ochranu členitých součástí, dutin, vnitřních povrchů trubek apod., u nichž elektrolyticky nelze dosáhnout kvalitní povlak. Musí být ale zajištěno dokonalé odstranění zbytků lázně po pokovení.

Ochranná účinnost je velmi dobrá i v agresivních atmosférách. Vzhled těchto povlaků je ve znečištěných atmosférách zhoršován černými nebo jinak zbarvenými korozními zplodinami. Rozhodujícím znakem jakosti je tloušťka povlaku.

¹² Technologie PVD (Physical Vapour Deposition) nachází uplatnění v řadě aplikací, jako např. v lékařství, jemné mechanice, elektrotechnice, optice.

Stupeň agresivity	Ocel litina	Měď mosaz	Hliník slitiny hliníku
C1	5	3-5	5
C2	12	8-10	12
C3	25	20	25
C4	37	30	37
C5	50	40	50

Tab.18 Tloušťky niklových povlaků (μm) [5]

Kvalita povlaku je značně závislá na přípravě povrchu. Niklové povlaky vyloučené z běžných fosforanových lázní obsahují 3 až 10 % fosforu a tepelným zpracováním lze u nich dosáhnout téměř tvrdosti chromových povlaků.

3.2 Ochrana organickými povlaky

3.2.1 Organické nátěry

Ochrana organickými nátěry (povlaky) lze aplikovat na všechny typy výrobků a konstrukčních materiálů. Je to vhodná ochrana u výrobků, u nichž se nepožaduje kovový povrch a u nichž je při požadavku na dlouhodobou ochranu možná periodická oprava povlaku. Ochrana organickými povlaky umožňuje volbu různých barevných odstínů. U hliníku, pozinkovaného plechu a hořčíku je kvalitní ochrana organickými povlaky možná jen ve spojení s chromátováním nebo fosfatizací.

Ochrana organickými povlaky je vhodná pro všechny atmosférické podmínky. Ochranná účinnost jednotlivých systémů není však univerzální a pro dané požadavky je nutné vybrat vždy ten nejvhodnější. Ochranné vlastnosti závisí na správné volbě nátěrových hmot z hlediska podkladového kovu i působícího prostředí. O kvalitě povlaku rozhoduje i správná kombinace jednotlivých vrstev, inhibiční vlastnosti základního nátěru, přilnavost, tloušťka a celistvost systému.

Hlavními znaky jakosti nátěru je počet vrstev, tloušťka, přilnavost a odolnost proti podkorodování. Podle dalších funkčních požadavků se kontrolují ještě jiné vlastnosti, např. barevný odstín, lesk apod. Tloušťky jednotlivých vrstev nátěrového systému jsou uvedeny v tab.19. Protože životnost nátěru je většinou nižší než technický život chráněného výrobku, musí být součástí návrhu ochrany i pokyny pro jeho opravu či obnovu.

Vrstva z nátěrové hmoty	Tloušťka (μm)
olejové, epoxidové, epoxidehtové, polyuretanové	20-40
chlorkaučukové	25-35
alkydové	20-30
polyesterové	30-40
polymerátové	25

Tab.19 Optimální tloušťky nátěrových systémů [5]

Jakost nátěru významně ovlivňuje konstrukční řešení výrobku, způsob vytváření povlaku a dodržení předepsaných technologických podmínek. Povrch výrobku z oceli musí být před nanesením nátěru dokonale zbaven všech nečistot (mastnoty, prachu, špíny, zbytků soli z předchozích operací apod.), rzi a okuji. Stupeň odstranění rzi a okuji, spojený obvykle s žádoucím zdrsněním povrchu, výrazně prodlužuje životnost povlaku. Nejméně účinné je ruční očištění povrchu drátěným kartáčem. Mnohem účinnější je moření. Životnost povlaku výrazně prodlužuje otryskání povrchu nebo fosfatizace.

U hliníku, hořčíku, jejich slitin a u zinkových povlaků se dosáhne nejlepší jakosti nátěru ve spojení s konverzním povlakem (chemická oxidace, fosfatizace, u hliníkových materiálů anodická oxidace). U zinkových povlaků je životnost nátěru na pouze očištěném povrchu výrazně nižší než na povrchu s konverzním povlakem.

Také konstrukční řešení výrobku výrazně ovlivňuje jakost organického povlaku. Pozornost je třeba věnovat zejména hranám. Otrěpy a hrany je třeba odstranit nebo zaoblit na poloměr min. 1 mm. Zcela nevhodné jsou neošetřené střížné hrany. Otvory a výřezy se doporučuje umisťovat do vzdálenosti minimálně pětinásobku tloušťky plechu.

U konstrukcí spojených šroubovým nebo nýtovým spojem je třeba nanést povlak ještě před spojením dílů. U neprůběžných a bodových svarů je třeba opatřit styčné plochy nátěrem ještě před svařováním. Jestliže není možno na styčných plochách povlak zhotovit, je třeba spáry uzavřít nátěrem, nejlépe ve spojení a těsnícím tmelem.

Při volbě nátěrového systému je třeba přihlížet i k technologii, kterou se má povlak zhotovit. Každá technologie má své přednosti a omezení a ne každá nátěrová hmota je natolik univerzální, aby ji bylo možné nanášet všemi způsoby.

Stříkáním v elektrickém poli vysokého napětí nebo elektrochemickým vylučováním nátěru se docílí nejlepšího pokrytí zaoblených hran. Při pneumatickém stříkání se dostatečně chrání hrany pouze při poloměru zaoblení nad 1 mm. Z hlediska ochrany hran je nevhodné máčení. Ve štěrbinách do šíře 10 mm je možno vytvořit povlak prakticky pouze máčením nebo elektrochemickým vylučováním. U dutin a různých "kapes" nelze obvykle vytvořit rovnoměrný povlak stříkáním v elektrickém poli. Při máčení vznikají problémy s nevhodnější polohou upravovaného výrobku v lázni. U rozměrných výrobků se osvědčuje vysokotlaké stříkání. Pro vytváření jednovrstvých vypalovaných nátěrů na drobných předmětech hromadné výroby, lze vhodnou nátěrovou hmotu nanášet v lakovacích bubnech.

Povlak má být zhotovován v čistém prostředí a za teploty a relativní vlhkosti, které jsou pro danou nátěrovou hmotu doporučeny. Je nutné respektovat předepsané maximální intervaly mezi očištěním povrchu a provedením první vrstvy nátěrového systému, jakož i intervaly mezi nanášením jednotlivých vrstev, a dodržovat předepsané doby zasychání nebo vypalování povlaku (včetně předepsaných teplot). Jestliže se na základní nátěr, zhotovený v dílně, nanáší další vrstva nátěrového systému až po kompletaci výrobku, je třeba předem odstranit případné korozní zplodiny podkladového kovu a opravit poškozená místa základního nátěru.

Pokud je nutné k vyrovnání nerovností povrchu výrobků tmelení, je třeba ho omezit na minimum, zejména u výrobků, které budou vystaveny působení vyšší vlhkosti.

3.2.2 Práškové plasty

Povlaky z práškových plastů jsou vhodné pro ocelové výrobky, výrobky z pozinkovaného plechu, hliníku, mědi a jejich slitin. Mohou být aplikovány i na nekovové materiály, pokud se tyto neporuší (nerozkládají) při teplotách zpracování (předehřívání, vytvrzování).

V porovnání s nátěry neobsahují povlaky z plastů antikorozi pigmenty, které se spolu s filmotvornou složkou podílejí na ochranné účinnosti. Proto se musí povlaky z práškových plastů vytvářet v kombinaci s konverzními povlaky (fosfatizace, chromátování).

Obecně mají povlaky z práškových plastů vysokou ochrannou účinnost ve vnitřních, velmi znečištěných prostředích, kde lze předpokládat jejich dlouhou životnost. Působením slunečního záření některé typy srašují a mění barevný odstín.

Povlaky musí být celistvé, hladké a nepórovité. Minimální tloušťka povlaku má být > 50 μm , jinak nelze zaručit bezpóreznost povlaku. Povlaky z plastů lze vytvářet různými způsoby, které se liší i dosažitelnou tloušťkou .

Typ povlaku	Způsob vytváření	Dosažitelná tloušťka	Vlastnosti a použití
epoxidový	stříkáním v elektrickém poli fluidně	60-150 μm 200-500 μm 300-1000 μm	vysoká odolnost ve vnitřních atmosférách. Ve vnějších silně znečištěných prostředích mění odstín a křídují.
polyesterový	stříkáním v elektrickém poli	60-150 μm	pro vnější použití a ve znečištěných atmosférách
polyetylenový	fluidně	0,3-5 mm	pro vnitřní použití i ve znečištěných atmosférách, pro vnější použití mírného klimatu pigmentovaný sazemi.

Tab.20 Charakteristika základních typu povlaků z plastů

3.3 Ochrana anorganickými nekovovými povlaky

3.1.1 Fosfatizace

Jako protikorozi ochrana je samotná fosfatizace málo účinná. Uplatňuje se hlavně jako vhodná vrstva pro konzervační prostředky resp. organické povlaky. Hlavním kritériem je tloušťka vrstvy vyjadřovaná plošnou hmotností ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) a její struktura. Po impregnování vrstvy konzervačním prostředkem stoupá ochranná účinnost s tloušťkou vrstvy. Doporučené hodnoty tloušťky fosfátové vrstvy jsou 6 až 30 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. Vhodnější jsou vrstvy s makroskopickou až mikrokrytalickou strukturou. Pro tento účel se hodí zinečnaté fosfatizační přípravky. Ve spojení s organickým povlakem (nátěrem) zhoršují tlustší vrstvy životnost systému (nebezpečí odlupování). Fosfátové vrstvy lze impregnovat vodním sklem, různými silikátovými přípravky apod.

Pro fosfatizaci nejsou vhodné výrobky, které by svým tvarem znemožňovaly spolehlivé odstranění zbytků lázní z povrchu oplachem. Tyto zbytky by působily škodlivě na následný organický povlak. Korozní odolnost fosfátové vrstvy lze částečně zvýšit pasivací, která zároveň zvyšuje její kompatibilitu.

Fosfátových vrstev se využívá i k jiným účelům než k povrchovým ochranám. Jejich výhodné kluzné vlastnosti snižují např. tření při zabíhání strojních součástí, nebo při tváření oceli za studena (manganaté fosfatizační přípravky). U transformátorových plechů slouží fosfátová vrstva jako elektroizolační vrstva.

3.1.2 Chemická oxidace

Chemická oxidace je pojem, zahrnující řadu technologií (černění, hnědění, chromátování¹³ a další). Většinou se jedná o technologické postupy, zajišťující jen krátkodobou ochranu v málo agresivních prostředích. Pro agresivnější podmínky lze doplnit povrch chráněný chemickou oxidací konzervačním prostředkem, bezbarvým nátěrem apod.

U oceli, mědi a mosazi se chemická oxidace využívá především pro zlepšení vzhledu v málo agresivním prostředí. U hliníkových a hořčíkových materiálů povrch s chemickou oxidací je výhodný hlavně jako podklad pod nátěry. U oceli je nejčastěji používáno černění. Vzhlednější vrstvy vznikají na mechanicky opracovaném povrchu, např. vyleštěném v bubnu. Černit však lze i další kovové materiály jako měď, mosaz, hliník, stříbro, zinek aj.

Pro drobnější výrobky, především z oceli a litiny, je vhodné černění a hnědění. Výrobky z hliníku a jeho slitin lze chromátovat, böhmitovat nebo černit. Měď a mosaz se pasivuje nebo černí. Povrchy ze stříbra se pasivují. Pasivace slouží k zabránění černění stříbrných povrchů vlivem sirných sloučenin. Díly z hořčíku a jeho slitiny se chromátují. Chromátování hořčíku a jeho slitin je nezbytnou úpravou před nátěrem, protože na nechromátovaném povrchu dochází k zrychlenému znehodnocení vrchního organického povlaku.

Při chromátování hliníku a jeho slitin vznikají podle druhu lázně světle žluté až hnědé vrstvy tloušťky 0,5 – 1,5 μm , nebo zelenavé vrstvy tloušťky 1-3 μm . Hliníkové díly lze upravovat vyvařením ve vodě, nebo böhmitováním. Vrstvy jsou bezbarvé a v neagresivním prostředí zajišťují požadované vzhledové vlastnosti.

3.1.3 Anodická oxidace

Pro výrobky nepřiliš složitých tvarů z Al je vhodnou povrchovou ochranou anodická oxidace. Tento způsob ochrany výrazně snižuje nebezpečí korozního napadení, především bodového. Není to vhodná ochrana hliníku pro extrémně agresivní atmosféry (některá průmyslová

13 Při vytváření chromátových konverzních povlaků mohou sloučeniny šestimocného chromu přecházet do životního prostředí. Šestimocný chrom je klasifikován jako karcinogenní látka při vdechování. Vzhledem k zdravotním a bezpečnostním hlediskům omezují Směrnice Evropské unie použití šestimocného chromu v automobilovém, elektrotechnickém a elektronickém průmyslu. Od 1.7.2007 se podle Směrnice 2000/53/EC nesmí v zemích EU u automobilu do 3,75 t vyskytovat šestimocný chrom. Obdobná směrnice bude platit po roce 2009 pro elektrotechnické a elektronické výrobky. Minimální přípustné množství Cr^{VI} v pasivačních vrstvách neobsahujících šestimocný chrom je 0,1 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$. bude tedy nutné nahradit všechny systémy obsahující šestimocný chrom, tj. tmavé i žluté chromátové konverzní povlaky.

mikroklima, přímoří). Rozhodujícím znakem jakosti je tloušťka vrstvy. Směrné hodnoty průměrných tloušťek jsou v tab.21.

Stupeň agresivity	Tloušťka (μm)
C1	5
C2	10
C3	15
C4	20
C5	25

Tab.21 Směrné hodnoty tloušťek eloxových vrstev [5]

Kvalita vrstev je závislá nejen na pracovních podmínkách, ale i na druhu hliníkového materiálu. Na čistém hliníku (Al 99,5 a výše) vznikají vrstvy homogennější a odolnější než na slitinách. Lépe se eloxují tvářené materiály než odlitky. Ze slévárenských materiálů se nejlépe eloxuje slitina AlMg3. Požaduje-li se pěkný vzhled výrobku, musí být jeho povrch před eloxováním mechanicky či chemicky upraven do požadované hladkosti či lesku. Při eloxování slitin s vysokým obsahem Si a Cu dochází ke ztmavnutí povrchu. Na čistém hliníku dochází částečně ke ztrátě lesku i u vyleštěných povrchů.

Každá vrstva má bezprostředně po eloxaci aktivní póry, v nichž by mohlo docházet ke korozi, vedoucí buď k vzhledovým závadám ("výkvět"), nebo k bodovému napadení. Aktivita se potlačuje utěsněním pórů, obvykle vyváškou ve vodě. Vysoká pórovitost dovoluje vrstvu probarvovat organickými nebo anorganickými barvivy. Anorganická barviva jsou na světle stálější. Účinné jsou dvoustupňové procesy, při nichž dochází k vybarvení vrstvy elektrolytickým vyloučením některých kovů v pórech (Sn, Ni, Co aj.). Jestliže se na vrstvu nekladou vzhledové požadavky, lze ji vybarvovat i v procesu utěsňování pórů přidávkem vhodných kovových solí.

Tenčí oxidové vrstvy mohou sloužit jako podklad pod nátěry. Zhotovení nátěru musí následovat bezprostředně po anodické oxidaci, jinak není záruka, že se dosáhne dlouhodobé přilnavosti nátěru.

K prodloužení životnosti vrstev během dopravy, skladování a pro expozici v silně znečištěné atmosféře je nutná následná ochrana transparentním nátěrem. Pro tento účel jsou vhodné laky vytvářející tenké vrstvy (max.15 μm) s rovnoměrnou a vzhledově málo postižitelnou degradací. Údržba oxidové vrstvy (očistěním v ročních intervalech) prodlouží vzhledovou životnost minimálně o 100 % a výrazně sníží rychlost bodové koroze i v náročných podmínkách.

3.1.4 Smaltování

Vybrané uhlíkové oceli, především 11 300 a 11 320, šedá litina s perlitickou nebo feritickoperlitickou strukturou, jsou materiály vhodné pro smaltování. Smaltovat lze vybrané vysokolegované oceli tř. 17, hliník čistoty min. 99,5 % i některé speciálně upravené slitiny Al Si, Al-Si-Mg. U všech materiálů musí být dodrženy požadavky na tepelné zpracování a stav povrchu.

Smaltované povrchy vykazují vynikající ochrannou účinnost i v silně agresivních atmosférách. Povrchy mají vysokou tepelnou odolnost, vysoký elektrický odpor, neměnný vzhled a mají vysokou hladkost povrchu.

Výsledná jakost smaltovaného povrchu závisí především na přísném dodržení předepsané technologie smaltování a na dodržení konstrukčních a montážních zásad. Nejdůležitějším kritériem je nepórovitost povlaku. Smaltování není vhodné pro povrchy, u nichž je během provozu nebezpečí poškození úderem. Oprava poškozené vrstvy je prakticky nemožná.

Tenké plechy pro smaltování mají být z neuklidněné oceli, válcované nebo alespoň doválcované za studena. Odlitky musí mít rovnoměrný povrch bez povrchových vad, pórů, trhlin a vměstků. U větších výrobků je třeba dodržet zásady konstrukčního řešení a montážních postupů. Tloušťka materiálu musí být pokud možno stejná (přípustný rozdíl je 2 - 3 mm). Přejít na tlustší materiál musí být proveden plynule.

Zdvojení materiálu přeplátováním zhoršují přestup tepla při vypalování a způsobují stejné závady ve smaltu jako materiály rozdílných tloušťek. Jsou proto nepřijatelné podložené plechy pod patkami nebo výztužné prstence. Jestliže je nutné z pevnostních důvodů zesílení stěny, je třeba provést celkové zesílení. Nepříznivý vliv na vypalování smaltu mají ty části výrobku, které vytvářejí tepelný stín. Je proto zapotřebí jejich negativní vliv zmírnit, nebo je připojit vhodným způsobem až po smaltování.

Za běžných provozních teplot vytváří smalt ve spojení s kovem soustavu, ve které je smalt v tlakovém předpětí. Tento stav je přípustný pro rovinné plochy a pro plochy vyduuté. U ploch vypouklých však tlaková složka působí nepříznivě. Se zmenšujícím se poloměrem křivosti je větší nebezpečí odprýsknutí smaltu.

Sváry musí být dokonale provařeny, bez trhlinek, pórů, zatavené strusky apod. Vlastnosti svarového kovu se musí maximálně blížit vlastnostem materiálu výrobku. Sváry se zásadně umísťují do plochy, nepřijatelné jsou koutové sváry. Plochy mají být hladké bez výstupků. Nesmí se navzájem přímo na plech, jestliže jeho druhá strana je smaltována.

Při konstrukci menších výrobků je třeba vedle obecných zásad, platných pro velké výrobky, dodržet další zásady. Konstrukce by měla být z jednoho kusu. Není-li to možné, je třeba zajistit dostatečnou kvalitu sváru, zajistit celkovou tuhost a symetrii dílce. Při montáži do větších celků je třeba zajistit celkovou pevnost nosnou konstrukcí a zabránit poškození smaltu během kompletace výrobku. Dvě smaltované části se nesmí spojit přímo, vždy je nutná měkká mezivložka (PVC, impregnovaná lepenka apod.). V místech spojů se díly nesmaltují, v krajním případě jen základním smaltem.

Základní literatura k problematice volby povrchových ochran [6], [11], [13].

IV. Konstrukční řešení

Vlastnosti zařízení ve ztížených podmínkách ovlivňuje částečně i konstrukční řešení výrobku. Čím je konstrukce jednodušší, tím je pravděpodobně:

- nižší poruchovost jednotlivých dílů zařízení,
- snadnější výměna vadných dílů,
- jednodušší obsluha zařízení.

Konstrukční řešení má zásadní vliv i na provedení určitého typu povrchové ochrany. V některých případech může nevhodné konstrukční řešení znemožnit dokonce provedení kvalitní povrchové ochrany. To se potom může projevit ve zkrácené době technického života zařízení ve ztíženém prostředí.

4.1 Strojní díly

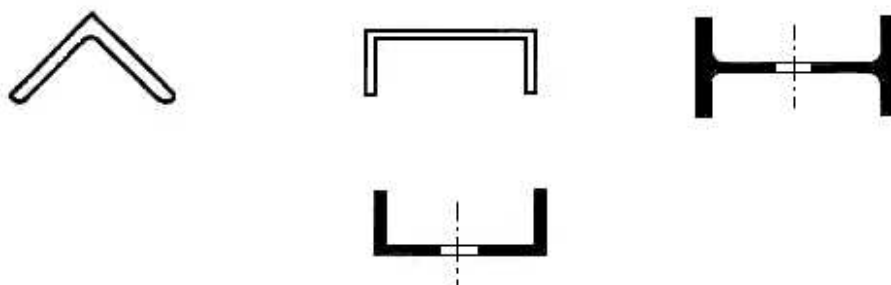
4.1.1 Profilové konstrukce

Nevhodnou polohou profilových tyčí nebo kombinací sestav profilů v příhradových konstrukcích (mostovky, stožáry) mohou vznikat žlaby, v nichž se udržuje voda s nahromaděnými nečistotami. To má za následek, že se postupně zvyšuje v profilu místní agresivita prostředí.



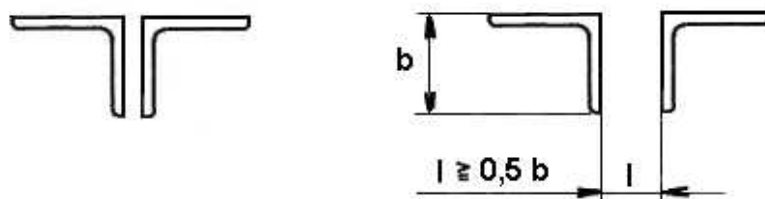
Obr.1 Nevhodné polohy profilových tyčí

Tento konstrukční nedostatek lze odstranit změnou polohy tyče, nebo v případě, že to není možné, vytvořením otvoru v profilu tak, aby mohla voda odtékat (obr. 2)



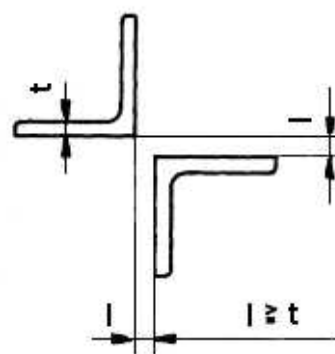
Obr.2 Polohy profilových tyčí omezující zadržování vody a nečistot

Obdobný problém může vzniknout zdvojením tyčí (obr.3). Vzniklá štěrbina je z hlediska požadavku na korozní odolnost ocelové konstrukce nevhodná. Pro nepřístupnost štěrby (po sestavení dílů a připojení tyčí nerozebíratelnými spoji) nelze zhotovit úplný systém ochrany, kontrolovat jeho jakost a provádět údržbu.



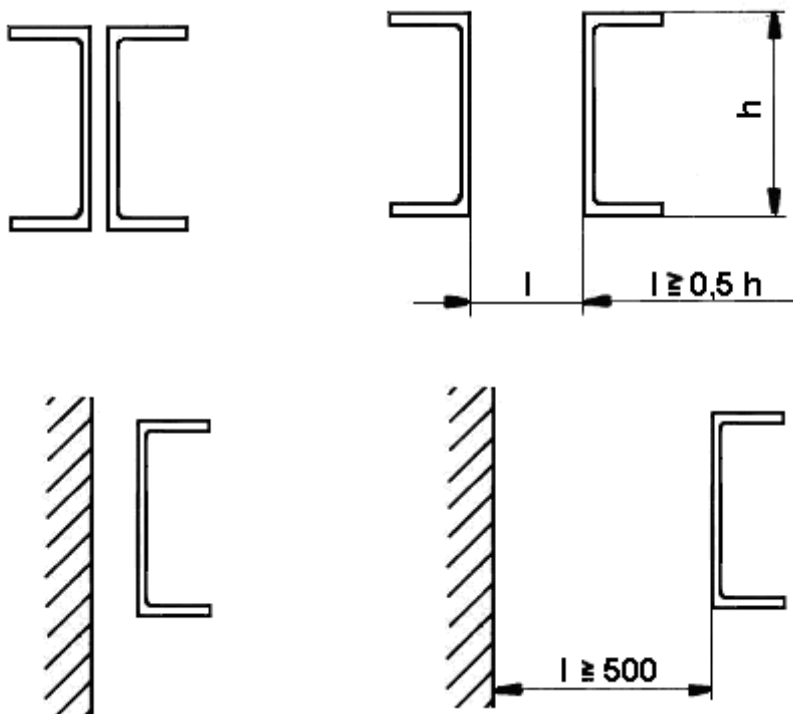
Obr.3 Štěrbina vzniklá nevhodným a vhodným uspořádáním tyčí

Štěrbina vzniklá při posunutí tyčí v rovině půdorysu by měla mít dostatečnou velikost. Z hlediska volby zhotovování, kontroly a údržby je optimálním konstrukčním řešením zdvojení tyčové soustavy (obr. 4).



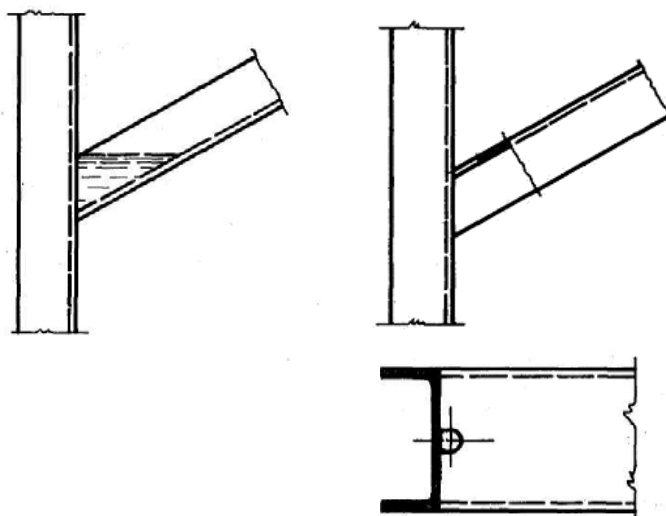
Nedostatečná vzdálenost mezi tyčemi nebo ostatními částmi stavby znesnadňuje zhotovit úplný systém ochrany, kontrolovat jeho jakost a provádět údržbu, příp. volbu vhodných systémů (obr.5).

Obr. 4 Štěrbina vzniklá posunutím tyčí



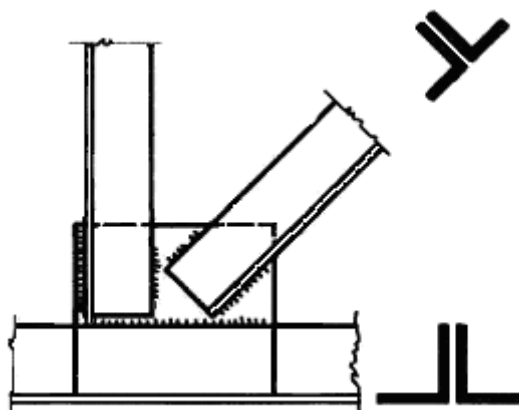
Obr.5 Příklady nevhodných a vhodných uspořádání profilových tyčí

U příhradových konstrukcí může nevhodným připojením tyče tvaru U vzniknout žlab, v jehož spodní části se může shromažďovat voda s nečistotami. Odstranit tento problém lze vhodnou polohou tyče a odvodňovacím otvorem (obr.6).



Obr.6 Vhodné a nevhodné připojení tyče v příhradové konstrukci

Nevhodné konstrukční uspořádání prvků zdvojené tyčové soustavy je na obr. 7. Mezi tyčemi vzniká úzká štěrbin, omezující volbu nebo zhotovení povrchové ochrany. Tyče jsou přivařeny přerušovaným svarem v těsné blízkosti hran a rohů, kde vznikají místa se sníženou jakostí ochrany. Vodorovné tyče zadržují nečistoty.



Obr. 7 Nevhodné uspořádání zdvojené tyčové soustavy

4.1.2 Spojování dílů

4.1.2.1 Svařované díly

Častým ohniskem koroze jsou svařované spoje. Při svařování dochází vždy k místnímu spálení nátěrů i odpaření žárově vytvořeného zinkového povlaku. K podbarvení se proto musí použít speciální nátěrová hmota, která zaručuje dobré antikorozi vlastnosti a neovlivňuje kvalitu sváru. Korozi odolnost svarových spojů je ovlivněna i vlastní technologií svařování. Při svařování obalovými elektrodami nebo pod tavidlem zůstává ve sváru a jeho okolí struska

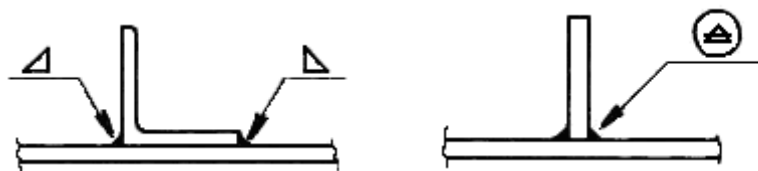
a poprašek z elektrod. Ochranná účinnost nátěru v těchto místech proto závisí na kvalitě očištění povrchu před aplikací nátěru.

Zvýšenou pozornost je nutné věnovat ochraně styčných ploch přeplátovaných spojů. Jestliže při vytvoření přeplátovaného spoje není použito podbarvení, zůstává povrch v těchto místech obnažen. Do vzniklé spáry může vnikat vzdušná vlhkost a nečistoty. V důsledku toho potom dochází v tomto prostoru k intenzivnější korozi. Intenzita koroze je závislá na šířce spáry a agresivitě korozního prostředí. Nebezpečné jsou zejména spáry úzké (0,4 - 0,8 mm). Z hlediska povrchové úpravy poskytují lepší možnosti svařované spoje, u nichž je zajištěna jejich hermetičnost (obr. 8).



Obr. 8 Vhodné řešení svarového spojení plošných dílů

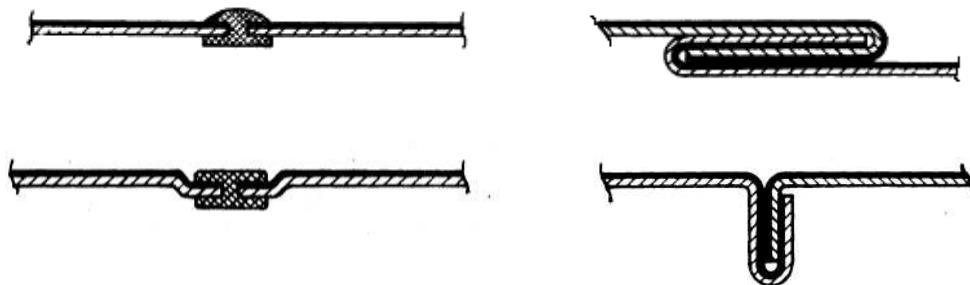
Podle zásad ochrany ocelových konstrukcí z hlediska protikorozní ochrany by se mělo omezit nebo zcela vyloučit používání přerušovaných svárů nebo svárů, které nejsou zhotoveny po celém obvodu (obr. 9).



Obr.9 Nevhodné a vhodné uspořádání svařovaných tyčí

4.1.2.2 Přeplátované plechy

Častým ohniskem koroze jsou střížné hrany předlakovaných plechů. Dodatečné krytí (lakování) střížných hran není ideální. Vhodnější je konstrukční řešení. Pro zakrytí střížných hran lze použít vhodných krycích lišt z různých materiálů, popřípadě volit takovou formu mechanického spojení, která umožní zakrytí střížných hran (obr.10). V podmínkách venkovní atmosféry mechanické spojení neposkytuje ale stoprocentní ochranu střížných hran. Proto je vhodné v tomto případě spáry utěsnit tmelem.



Obr.10 Spojování přelakovovaných plechů

4.1.2.3 Šroubové a nýtové spoje

U šroubových nebo nýtovaných překlátovaných spojů se doporučuje před vlastním spojením dílů provést dodatečnou povrchovou ochranu styčných ploch. Určité omezení je při nýtování za tepla, kdy může dojít k místnímu spálení nátěru. Hlavy nýtů, šrouby i svarové housenky, včetně vlastních překlátovaných částí spojů, zvyšují členitost povrchu a v důsledku toho se snižuje rovnoměrnost vytvářených nátěrů.

4.1.2.4 Lepené spoje

Moderním způsobem spojování je lepení.¹⁴ Sortiment lepidel je natolik široký a proměnný, že je možno uvést pouze obecnou charakteristiku lepeného spoje.

Lepidla mohou být prostředím narušována obdobně jako jiné organické materiály. Protože však k nim prostředí v lepeném spoji nemá přímý přístup, dochází k poškození prakticky pouze při penetraci vody do spoje lepenou hranou nebo podkorodováním spoje. Poškození mikroorganismy bývá vzácné. Z klimatických vlivů má proto pro trvanlivost lepených spojů praktický význam především teplota. Ta může nepříznivě ovlivňovat vlastnosti samotného lepidla a vedle toho i zvyšovat mechanické namáhání spoje vyvolané rozměrovými změnami a deformacemi lepených materiálů. To je také častější příčinou menší odolnosti lepených spojů při venkovní expozici. Znečištění atmosféry se uplatňuje jen výjimečně.

Při správné volbě lepidla, z hlediska předpokládaného tepelného namáhání a druhu lepených materiálů, je nejčastější příčinou poškození spoje nedokonalá příprava a úprava povrchu, porušení konstrukčních zásad, nedodržení předepsaného způsobu zpracování lepidla a podmínky pro jeho nanášení (teplota, vlhkost, tlak, doba do zatvrdnutí). Jde tedy o faktory, které již samy o sobě snižují předpokládanou pevnost lepeného spoje a jeho schopnost odolávat zvýšenému pnutí při rozměrových změnách, vyvolaných teplotou.

Jakost lepidla je dána výrobcem a jeho vlastnosti již nelze dodatečnými opatřeními měnit. Jakost lepeného spoje je dána konstrukčním řešením, výběrem lepidla s ohledem na všechny vlivy, jimž bude spoj vystaven, a dodržáním technologie předepsané výrobcem. Při zajišťování klimatické odolnosti výrobku je proto třeba při volbě a způsobu použití lepidla dodržovat tyto hlavní zásady:

- U lepených spojů s vysokými nároky na dlouhodobou pevnost je nutné chránit lepenou spáru vhodným nátěrem, a to zejména u spojů pro prostředí se zvýšenou vlhkostí, pro prostředí silně znečištěná nebo při velkém poměru délky lepené spáry k lepené ploše.
- Při konstrukci a zhotovování výrobku, u něhož má být použito lepených spojů, je třeba respektovat všechny obecně platné zásady pro dosahování lepeného spoje s vysokou pevností a s minimálním nebezpečím jejího snižování mechanickými vlivy.
- Nedoporučuje se používat lepených spojů na části výrobků, které budou vystaveny zvýšenému ohřevu či větším změnám teploty, ať již klimatickými vlivy nebo provozem výrobku.

¹⁴ Vedle jejich základního poslání - spojování jednotlivých částí výrobků - se lepidla někdy používají jako těsnicí prostředky

4.1.3 Ložiska

Konstrukčním prvkem, kterému je nutné ve ztíženém prostředí věnovat patřičnou pozornost, je ložisko. Rozhodující roli u těchto prvků hraje použitý tuk. V studené oblasti a studeném prostředí běžné tuky krystalizují již při teplotě kolem -20 až -30 °C. Pro menší ložiska je proto nutné volit speciální tuky. Výhodným řešením se jeví samomazná ložiska z plastů. U velkých zařízení se ložiska před uvedením do provozu přehřívají, což vyžaduje konstrukční úpravy.

V prašných oblastech a prostředích s velkými změnami teplot (-5 až $+50$ °C) představuje pro ložiska nebezpečí prach. Proto by měla být chráněna proti vniknutí prachu. Do prostředí s vyššími teplotami okolí je nutná kontrola oteplení ložisek, aby nedocházelo k vytékání tuku. Vlivem dlouhodobého skladování při vyšší teplotě dochází rychleji k rozkladu tuku, který potom působí korozivně.

Tuky ve vlhkém prostředí s atmosférickým znečištěním a přímořským prostředí se snadno rozkládají a spolu s vlhkostí pak působí korozivně. Pro vlhká prostředí se nejlépe osvědčují uzavřená ložiska plněná speciálním tukem odolným proti vlhkosti.

4.1.4 Pružiny

Ochranu pružin je nutné řešit s ohledem na typ pružin a jejich velikost. Problematičnost povrchové úpravy pružin do značné míry způsobuje citlivost pružinových ocelí k obvyklým technologickým postupům. Nedílnou součástí výroby pružin jsou procesy tepelného zpracování. To ale může způsobit naoxidování povrchu oceli. Mechanické čištění povrchu od oxidových vrstev je použitelné pouze u velkých typu pružin. Střední a malé pružiny sevřeného provedení (zkrutné a tažné) se chrání galvanickým pokovením. Vlivem vodíkové křehkosti, vyvolané chemickou úpravou, se ale zhoršují mechanické vlastnosti těchto pružin.

Další z cest, jak provádět povrchovou ochranu pružin je jejich výroba z galvanicky nebo žárově pokovených drátů. Tento způsob je však použitelný pouze pro pružiny, které se již po navinutí tepelně nezpracovávají. Jiným způsobem je úprava pružin fosfátováním. Fosfátová vrstva (obvykle Zn-fosfát) slouží jako nosný podklad pro konzervační prostředky nebo pro elektroforetické nebo jiné lakování. Fosfátování se také používá jako povrchová úprava pružinových drátů. Tato technologie usnadňuje vinutí pružin a vytváří dostatečný podklad pro lakování.

4.1.5 Spojovací materiál

Spojovací materiál (šrouby, matice, podložky, vruty, nýty apod.) je důležitou součástí většiny výrobků, přitom spojovaná místa představují nejvíce mechanicky i korozně namáhaná místa. Klasickou formou povrchové ochrany spojovacího materiálu, zejména menšího rozměru, jsou elektrolyticky vyloučené povlaky zinku, kadmia, cínu, mědi a dalších slitin. Jejich ochranná účinnost je dána především typem povlaku a jeho tloušťkou.

Pro ochranu šroubů byla vyvinuta řada modifikovaných galvanických procesů. Tak např. ocelové šrouby se nejdříve pokoví Ni. Vzniklá vrstva se tepelně upraví a na tento povrch se elektrolyticky vyloučí 12 μm vrstva Zn.

U ocelových šroubů s nesnímatelnou Al¹⁵ podložkou je nutné omezit vliv korozního článku mezi materiálem podložky a vlastním šroubem. To se docílí tak, že po navlečení podložky a vytvoření závitu se šroub pokoví slitinovým povlakem Sn-Zn. Hliníková podložka je při pokovení chráněna snímatelným lakem.

Závažným omezením použitelnosti technologie galvanického pokovování je vznik vodíkové křehkosti u vysokopevnostních tepelně zpracovaných ocelí.

V povrchové ochraně spojovacího materiálu mají své místo i žárové povlaky. Ve srovnání s galvanickými zinkovými povlaky vykazuje žárový zinek vyšší ochrannou účinnost (z důvodu větší tloušťky).

V automobilovém průmyslu se ve velké míře používá pro ochranu spojovacího materiálu mechanicko-chemické vytváření povlaku. Slitinový povlak Zn-Sn zamezuje vznik korozního článku mezi ocelovými spojovacími prvky a částmi z hliníkových slitin.

Pro dodatečnou ochranu povrchu smontovaných spojů lze využít organické povlaky. Existují však i technologie umožňující primární ochranu spojovacích prvků přímo u výrobce. Vhodnou skladbou jednotlivých vrstev lze zajistit jak požadovanou povrchovou ochranu, tak snížení třecích sil při utahování závitových spojů.

4.1.6 Ostatní konstrukční díly

4.1.6.1 Štěrbiny

Konstrukční řešení by mělo být navrženo tak, aby nevznikaly na výrobku štěrbině. V úzké štěrbině lze nátěr zhotovit prakticky jen máčením, příp. elektrochemickým způsobem. Aplikace těchto způsobů je však většinou nevhodná. Jestliže se z funkčních důvodů nelze štěrbině vyhnout, je účelné, nepřesahuje-li její šířka 10 mm, zatmelit ji vhodným plastickým tmelem.



Obr. 11 Konstrukční řešení z hlediska možné povrchové úpravy

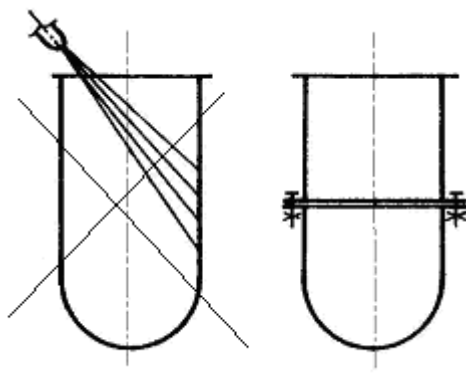
4.1.6.2 Částečně uzavřené prostory

Z hlediska životnosti nátěrů výrobků vystavených atmosférickým podmínkám či jiným vlivům agresivního prostředí jsou velmi nepříznivé částečně uzavřené prostory, jako jsou různé kapsy, dutiny konstrukcí s členitým povrchem, prolisy apod.

¹⁵ Šrouby používané v automobilovém průmyslu.

V těchto místech se hromadí voda, prach a jiné nečistoty. Zadržaná dešťová voda rozpouští agresivní složky atmosféry, které se stálým odpařováním vody a přístupem nových nečistot postupně koncentrují. Bylo zjištěno, že v podmínkách chemického závodu odpovídá agresivita nahromaděné kapaliny po dvou měsících 3 %ní kyselině sírové.

Částečně uzavřené profily omezují možnost volby technologie zhotovování nátěrů. V dutinách se zadržuje nátěrová hmota, elektricky stíněná místa znemožňují aplikaci elektrostatického stříkání. Úkolem konstruktéra je navrhnout takové řešení, které může zajistit provedení kvalitní povrchové ochrany. Příklady vhodného a nevhodného konstrukčního řešení nádoby je na obr. 12.



Obr. 12 Příklad konstrukčního řešení nádoby z hlediska možnosti provedení povrchové ochrany.

4.1.6.3 Duté uzavřené profily

U moderních konstrukcí se často využívá různých dutých uzavřených profilů, které kromě lepších mechanických vlastností zlepšují též podmínky pro povrchovou úpravu. Uzavřené profily většinou nevyžadují povrchovou úpravu vnitřních ploch, čímž se snižuje celková upravovaná plocha konstrukce. U svařovaných konstrukcí z trubek k tomu ještě přistupuje výhoda hladkého oblého povrchu, který snižuje možnost usazování prašných nečistot.

Aby nedocházelo ke korozi vnitřních částí konstrukce, musí být provedeny profily jako „vzduchotěsné“. U důležitých nosných částí konstrukcí se často vyžaduje tlaková zkouška těsnosti. Duté prostory konstrukcí, které nelze vzduchotěsně uzavřít, musí být opatřeny alespoň vhodným základním nátěrem a otvorem pro odtok vody. Osvědčuje se rovněž plnit dutiny např. betonem, vyměňovacími materiály, vypařovacími inhibitory, příp. chránit vhodnými konzervačními prostředky.

4.1.6.4 Kombinace různých kovů

V praxi se často vyskytuje nutnost kombinace různých druhů materiálů. Při kovovém spojení elektrochemicky různě ušlechtilých kovů vzniká nebezpečí vzniku korozních makročlánků, a to i pod nátěrem. Vlivu kovového styku dvou kovů s rozdílným elektrodovým potenciálem, který se uplatňuje zejména v agresivnějším prostředí a to do vzdálenosti max. 1 - 2 mm od místa styku, lze zabránit, pokud to dovolí konstrukční možnosti, izolační vložkou.

4.2 Elektrotechnické díly

4.2.1 Elektronické prvky a systémy

Při volbě elektronických prvků a systémů do ztížených provozních podmínek je nutné zachovávat rovněž celou řadu pravidel. Vzhledem k tomu, že tyto výrobky se skládají z různorodých materiálů zpracovaných rozličnými technologiemi, mohou být tato pravidla jen obecného významu.

Elektronické systémy pro tropické oblasti suché prašné, jim podobná prostředí a prostředí s velkými změnami teplot (-5 až +50 °C), musí být projektovány a konstruovány tak, aby při maximální teplotě okolí 50 až 55 °C nebyla provozní teplota elektronických prvků vyšší, než je jejich dovolená maximální provozní teplota. Obvody s kontakty jsou v těchto prostředích ohroženy prachem. Proti jeho vnikání je třeba je chránit těsným krytem nebo přetlakem filtrovaného vzduchu. Nejvhodnějším řešením jsou bezkontaktní spínací prvky.

Pro tropické oblasti vlhké, pro vlhká prostředí, vlhká prostředí s atmosférickým znečištěním a přímořská prostředí se volí elektronické prvky, které vyhoví při ověřování zkouškou vlhkým teplem po dobu 56 dní (ve výjimečných případech, kdy podmínky provozu jsou příznivější, po dobu 21 dní).

Podle stejného hlediska se volí i materiál pro plošné spoje. Při osazování desky musí být dodržena předepsaná technologie, použito vhodné tavidlo a dodržena teplota při pájení. Deska se musí předepsaným způsobem omýt upravenou vodou (kontrola její vodivosti), osušit a chránit povrchovým lakem, který vytváří ochranu proti vzniku vodivých cest v prostředí s vysokou vlhkostí. Použije-li se plátovaný materiál s vyšší navlhavostí, dodatečným pokrytím lakem se jeho klimatická odolnost nezvýší. Ochranný lak jen zabraňuje vzniku vodního filmu a tím vodivých můstků mezi plošnými vodiči.

4.2.2 Vodiče a kabely

Použitelnost vodičů a kabelů pro prostředí s nízkými teplotami je určována jejich izolací a pláštěm. Teplotní hranice použitelnosti je nutno přísně dodržovat v případě, že se s vodiči a kabely bude při těchto teplotách manipulovat (při montáži, pohyblivé přívody). Jestliže jsou v zařízení pevně zamontovány, lze je vystavit i nižším teplotám, než určují materiálové tabulky. Tyto okolnosti je nutné pečlivě zvážit a podle situace rozhodnout.

Vodiče a kabely pro tropické oblasti suché a prašné, jim podobná prostředí a prostředí s velkými změnami teplot (-5 až +50 °C) nevyžadují mimořádných opatření. Je třeba jen počítat se změnami, k nimž může v těchto podmínkách dojít u izolací z některých plastů (urychlené stárnutí vlivem nízké vlhkosti a zvýšené teploty).

Pro tropické oblasti vlhké, vlhká prostředí, vlhká prostředí s atmosférickým znečištěním a přímořská prostředí je lépe volit kabely a vodiče s pocínovaným nebo postříbřeným jádrem, zejména když jde o malé průřezy. V prostředí s atmosférickým znečištěním vyšších koncentrací je nutné volit chráněné jádro. Pozornost je třeba věnovat způsobu připojení kabelu resp. vodiče, aby v místě spoje nevznikl galvanický článek nebo na spoji nezůstaly zbytky tavidla. Ve vlhkých tropických oblastech dochází někdy k napadení plísní, hlavně u kabelů a vodičů s PVC izolací. Napadení však ve většině případů nemá vliv na funkci.

Užití vodičů a kabelů v ostatních prostředích, které se podstatně liší a nejsou modifikací některého z uvedených prostředí, je nutné řešit volbou kabelu případ od případu. Jde zejména o situace, kdy plášť kabele může přijít do přímého styku s agresivními tekutinami (v kabelových kanálech, kam mohou některé tekutiny zatékat při havárii).

4.2.3 Venkovní izolátory

Venkovní izolátory pro studené oblasti a prostředí bývají ohroženy v zimním období nestejným tepelným namáháním. Povrch izolátoru se slunečním zářením ohřeje, zatímco spodní část je vystavena mrazu. To často vede k prasknutí izolátoru. Pro tyto oblasti se nejlépe osvědčily izolátory skleněné. Jinak nejsou v těchto oblastech problémy, pokud jsou systémy vhodně dimenzovány s ohledem na vytváření námrazy.

U venkovních izolátorů v tropické oblasti suché prašné a jim podobném prostředí a prostředí s velkými změnami teplot (-5 až +50 °C) dochází k usazování prachu, který může obsahovat soli, průmyslová hnojiva nebo průmyslové exhaláty. V důsledku velkých teplotních změn dochází ke kondenzaci vlhkosti, což může vést k přeskokům a někdy i k destrukci izolátoru. V těchto oblastech jsou nedostatečné srážky a k mytí izolátorů není k dispozici voda. Pro tato prostředí se nejlépe osvědčily skleněné izolátory. Neosvědčila se úprava silikonovým tukem, polovodivou glazurou ani jiným způsobem.

Spolehlivost venkovních izolátorů ve vlhkém prostředí s atmosférickým znečištěním a přímořském prostředí závisí především na frekvenci deštů. Nejméně problémů je v tropických vlhkých oblastech s menší hustotou průmyslu a častými dešti, kde se na izolátorech nestačí vytvořit depozit. Kromě toho nejsou v těchto oblastech mlhy, které bývají příčinou korony.

V přímořských oblastech se objevují problémy jen tehdy, když izolátory nejsou včas omyty deštěm od slaných depozitů. V průmyslových oblastech, kde se tvoří průmyslové prachové depozity, jsou s izolátory problémy ve všech klimatických pásmech, které jsou chudé na srážky. Poruchy se objevují hlavně v období zvýšené vlhkosti a mlh.

Venkovní izolátory pro vysokohorské oblasti musí být řešeny především z hlediska mechanického namáhání (námraza na vedení, vítr).

4.2.4 Kontakty a spoje

V suchých tropických a prašných prostředích je funkce kontaktů ohrožena většinou jen prachem. Proto mají být přístroje nebo elementy s kontakty v prachotěsném provedení. Kontaktní systémy je vhodné řešit tak, aby pohyb kontaktu napomáhal čištění povrchu (samočisticí efekt). Je vhodné dávat přednost takovým kontaktním systémům, u nichž jsou kontaktní plošky ve svislé poloze. Pevné spoje nejsou v tomto prostředí ohroženy. Volba materiálů pro kontakty nevyžaduje pro tato prostředí žádných mimořádných opatření.

Ve vlhkých tropických oblastech a ve vlhkém prostředí se znečištěnou atmosférou jsou ohroženy zejména spínací kontakty, především vysokou vlhkostí a atmosférickými nečistotami. Obsahuje-li atmosféra sirovodík a sloučeniny se sulfidickou vazbou, podléhají korozi zejména kontakty ze stříbra a ze stříbrných slitin. Při nízkém obsahu H₂S sice stříbrné kontakty poněkud ztmavnou, jejich funkce však není ohrožena. Pro prostředí s vyšším

obsahem H_2S se doporučuje chránit stříbrné kontakty povlakem z drahého kovu nebo použít kontaktů z různých nekorodujících slitin.

V prostředí s obsahem SO_2 jsou ohroženy pozlacené kontakty, pokud je povlak pórovitý v důsledku nedostatečné tloušťky. Zlaté povlaky dostatečné tloušťky jsou v tomto prostředí stálé. Opotřebením stříbrných, postříbřených nebo pozlacených kontaktů lze zabránit tenkým povlakem z rhodia.

Pevné spoje (lisované ovíjené) nejsou ohroženy, jestliže jsou správně provedeny jako parotěsné. Koroze povrchu pevného spoje neohrožuje poměrně dlouhou dobu funkce, zejména když jde o tlustší vodiče. V každém případě je však nutné zabránit povrchové korozi pevného spoje nátěrem.

4.2.5 Povrchové cesty

U izolačních dílů ve vlhkém prostředí je nutné volit dostatečné povrchové vzdálenosti. Volba délky povrchové cesty (nejkratší vzdálenost mezi dvěma vodivými částmi po povrchu izolačního materiálu), nebo vzdušné vzdálenosti (nejkratší vzdálenost mezi dvěma vodivými částmi) závisí na napětí mezi vodivými uzly a stavem povrchu.



Obr. 13 Vzdušná cesta a povrchová vzdálenost

Základní literatura k problematice konstrukčního řešení [8], [10], [11], [13].

V. Omezení vlivu prostředí

5.1 Úprava prostředí

Úpravou prostředí se rozumí snížení relativní vlhkosti vzduchu na hodnoty, při nichž nemůže dojít ke kondenzaci vody, a tím ani ke korozi kovových částí nebo navlhání izolačních systémů. Ve vnitřních (nízkoagresivních) prostředích se pod úpravu prostředí zahrnuje snížení korozně agresivních složek v atmosféře vnitřního prostředí.

5.1.1 Přítápění, chlazení

Negativním jevem v některých typech vnitřních prostředí je možnost vzrůstu relativní vlhkosti a poklesu teploty rosného bodu na hodnotu, při které může docházet k přechodu vodní páry do kapalného stavu. Závislost rosného bodu okolního vzduchu na teplotě a vlhkosti je v tab.22.

RV [%]	Teplota vzduchu [°C]											
	0	5	10	15	16	18	20	22	24	26	28	30
90	-1,0	3,5	8,5	13,3	14,3	16,4	18,2	20,3	22,1	24,2	26,0	28,2
85	-2,0	2,5	7,5	12,4	13,3	15,2	17,3	19,3	20,9	23,1	25,0	27,0
80	-3,0	1,8	6,5	11,0	12,2	14,3	16,1	18,3	20,3	22,1	23,2	25,3
75	-3,5	0,8	5,8	10,2	11,3	13,3	15,3	17,2	19,3	21,0	22,8	24,8
70	-4,4	-0,2	4,5	9,5	10,3	12,0	14,0	16,0	17,8	20,1	21,8	23,8
65	-5,0	-1,0	3,4	8,3	9,0	10,9	12,7	14,8	16,6	18,7	20,3	22,3
60	-6,8	-2,0	2,8	7,0	8,0	9,8	11,5	13,4	15,4	17,3	19,1	21,3
55	-7,5	-3,8	1,0	5,7	6,5	8,3	10,2	11,8	13,9	15,8	17,6	19,7
50	-8,5	-4,3	-0,5	4,3	5,0	6,8	8,6	10,5	12,4	14,3	16,0	17,9
45	-9,8	-5,5	-1,8	2,5	3,5	5,8	7,0	8,8	10,6	12,4	14,3	16,1
40	-11,0	-7,0	-3,8	1,0	1,8	3,5	5,3	7,0	8,9	10,5	12,2	14,2
35	-12,8	-9,0	-4,5	-1,0	-0,3	1,5	3,2	5,0	6,9	8,5	10,3	11,8
30	-14,5	-10,5	-6,5	-3,0	-2,0	-0,5	1,0	3,0	4,5	6,3	8,0	9,5
25	-16,5	-13,0	-9,0	-4,8	-4,3	-3,0	-1,5	0,0	1,8	3,5	5,0	6,9
20	-19,0	-15,3	-11,8	-8,0	-7,0	-5,5	-4,3	-3,0	-1,2	0,0	2,0	3,0

Tab.22 Závislost rosného bodu na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu

Jednou z možností jak snížit relativní vlhkosti vzduchu je ohřevem vzduchu nad teplotu rosného bodu. Tento princip se využívá u elektrických zařízení umístěných v prostorách, kde jsou podmínky tak nepříznivé, že může nastat kondenzace vodní páry, tj. hlavně u zařízení s velkým tepelným obsahem, krátkým obdobím chodu a dlouhými pracovními přestávkami. Přítápění se montuje pokud možno do všech elektrických zařízení, umístěných volně nebo pod přístřeškem, do zařízení určených do velmi vlhkých prostorů, jako jsou sklepy, prádelny. Zařízení, u kterých nelze vyloučit kondenzaci vodní páry, musí být na nejnižším místě opatřeny odkapávacími otvory.

Ve vlhkém prostředí je nutné zabránit navlhnutí izolace. Nejlepším řešením ochrany proti navlhnutí je přítápění v době klidu zařízení. Provádí se to buď podžhavenou žárovkou, infražárovkou nebo topnými tělisky, umístěnými na nejnižším místě zařízení (kostry rozvaděče, motoru) nad spodním větrací otvorem. Přídavná přítápění se montují do točivých

strojů, když předpokládáme dlouhé pracovní přestávky, během nichž by mohlo vinutí navlhnout.

Jiným způsobem, jak omezit vliv vlhkosti ve vnitřním prostředí, je ventilace (chlazení). V uzavřeném oběhu má chlazení řadu výhod (především chlazení vzduchu vodou). Doporučuje se tam, kde je k dispozici chladicí voda a kde to dovolí ekonomické hledisko (u středních strojů). Hlavní výhody chlazení v uzavřeném oběhu jsou:

- vinutí a ventilační štěrby se nezanášejí rychle prachem,
- v chladičích se vlhkost tolik nesráží,
- zařízení je možno zahřívát v době klidu radiátory o malém výkonu, zamontovanými do cirkulačního potrubí,
- je zamezeno vnikání teplého vzduchu do strojovny a jiných prostorů,
- zařízení je přirozenou ochranou proti požáru, které můžeme být ještě zlepšeno přidáním CO₂ do chladicího vzduchu

Někdy se používá otevřená ventilace. Ta má ale nevýhodu v tom, že proudící vzduch sebou přináší velké množství prachu, který se usazuje např. na vinutí a zhoršuje tím odvádění tepla. Je-li stroj v klidu, vrstva prachu rychle zvlhne a je pak vhodnou půdou pro růst plísní.

5.1.2 Klimatizace a čištění vzduchu

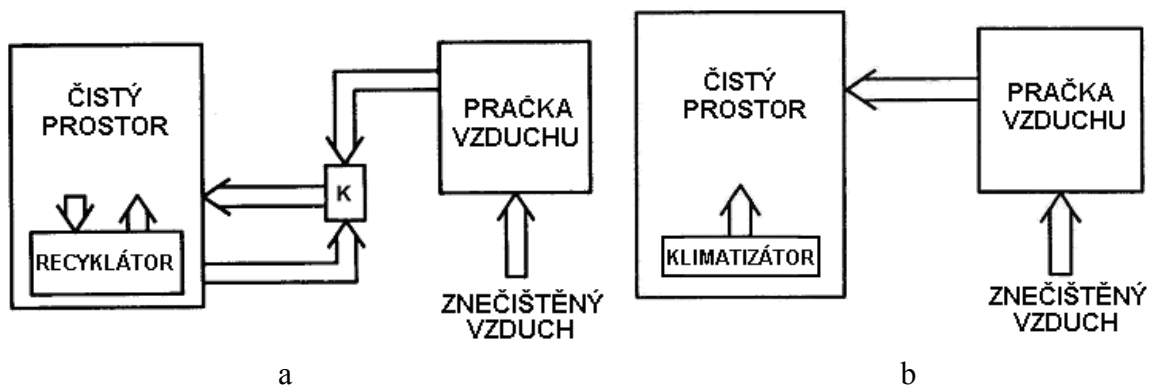
Ekonomicky nákladnější a technicky složitější způsob úpravy prostředí je klimatizace (úprava teploty a relativní vlhkosti vzduchu vnitřního prostředí). Současně s klimatizací se často provádí čištění vzduchu od škodlivých polutantů. Nevýhodou tohoto způsobu úpravy prostředí jsou obecně velké finanční náklady na pořízení klimatizační jednotky. V tropických prostředích k tomu někde přistupuje i nedostatek nebo nepravidelnost dodávky elektrické energie, potřebné pro trvalý provoz klimatizační jednotky. Přes tuto nepříznivou skutečnost se klimatizační jednotky využívají ve:

- výpočetních střediscích,
- archivech,
- muzeích,
- knihovnách,
- skladech náročné techniky (např. vojenské),
- operačních sálech apod.

Při projektování klimatizačního zařízení je nutné brát v úvahu základní parametry upravovaného prostoru, jeho objem a provedení:

- tepelná izolace,
- vstupní prostor.

Od těchto parametrů se odvíjí umístění klimatizační jednotky. Způsobů, jak instalovat klimatizační jednotku, je celá řada. Základní uspořádání je na obr.14a. Zařízení pro klimatizaci je v tomto případě chráněné proti korozi, obtížně se ale v prostoru reguluje vlhkost a teplota. Z tohoto hlediska lepší uspořádání je na obr.14b.



Obr.14 Základní způsoby umístění klimatizační jednotky

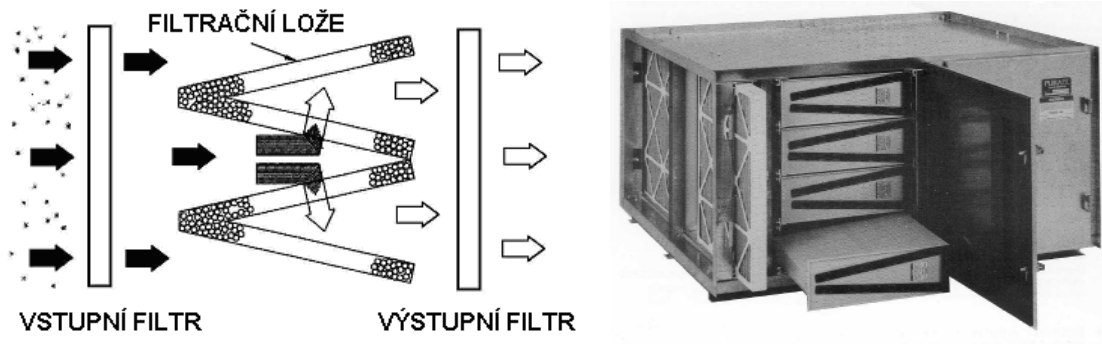
Důležité jsou i vlhkostně teplotní parametry v upravovaném prostoru. Z hlediska systému ISA by v klimatizovaném prostoru měla být:

- teplota 22 ± 2 °C,
- relativní vlhkost 50 % s možností změny ± 6 % během jedné hodiny,
- během jedné minuty vyměněno 2 až 5 % objemu vzduchu.

Komplexní klimatizační jednotka velmi často obsahuje zařízení k odstranění prachu, bakterií a plynného znečištění z místností (čističku vzduchu). Čistička dokáže odstranit např. tyto plyny a pachy:

- SO_2 , NO_x , O_3 ,
- uhlovodíky,
- motorové spaliny,
- pach z čistících prostředků,
- ozón vznikající při provozu kopírovacích zařízení
- nátěrů, laků,
- tabákový dým,
- laboratorní pachy,
- kuchyňské a koupelňové zápachy,
- nemocniční, tělesné a zvířecí zápachy.

Znečištěný vzduch je v čističce přiváděn přes primární filtr, který má za úkol odstranit prachové částice. V systému filtračních loží, jejichž náplň je obvykle aktivní uhlí, se zachycují plynné škodliviny. Vyčištěný vzduch před vstupem do místnosti prochází sekundárním filtrem, který má za úkol zachytit částice, které by se mohly dostat do vzduchu z filtračního lože (obr. 15).



Obr. 15 Filtrační jednotka

5.2 Dočasná ochrana

Dočasnou ochranou se rozumí soubor opatření zabezpečujících výrobek proti působení klimatických vlivů během výroby, skladování, přepravy a případné montáže v místě exploatace. Základními opatřeními dočasné ochrany jsou:

- konzervace,
- ochranné obalení

Prostředky a metody dočasné ochrany se volí podle požadované doby ochrany a klimatického namáhání. V případě potřeby musí být prostředky po skončení své funkce snadno odstranitelné (*dekonzervace*) bez poškození výrobku. Optimální podmínky pro funkci prostředků dočasné ochrany jsou tehdy, jestliže se aplikují bezprostředně po konečné výrobní operaci. Dočasná ochrana se většinou řeší kombinací konzervace s vnitřním obalem a její výsledná účinnost proto závisí jak na výběru ochranného prostředku a pečlivosti provedení vlastní konzervace, tak na způsobu provedení vnitřního obalu. Přepravní balení, které je nezbytnou součástí celkové ochrany výrobků, má za úkol chránit výrobek proti mechanickému poškození při manipulaci během přepravy.

5.2.1 Konzervace

K tomuto účelu lze použít řady prostředků, lišících se mechanismem svého působení i ochrannou účinností. Jde o různé konzervační vazelíny, oleje, vosky, kontaktní inhibitory apod.

Jedním ze základních požadavků z hlediska zabezpečení kvality dočasné ochrany je začlenění operací dočasné ochrany do výrobního procesu na úroveň ostatních strojírenských postupů se všemi odpovídajícími náležitostmi (technické a prostorové vybavení, používání účinných ochranných prostředků, technická kvalifikace pracovníků apod.).

Ocelové a litinové výrobky hrubě opracované, otryskané, mořené apod. by neměly být skladovány v málo agresivním prostředí bez ochrany déle než asi 2 až 3 hodiny. V ovzduší s vyšším stupněm agresivity se tyto intervaly zkracují, u citlivých a drahých výrobků je v některých případech účelná mezioperační ochrana.

Přiměřenou dočasnou ochranu vyžadují i díly z barevných kovů, pokovené díly a nátěry. Povrch výrobků musí být před aplikací konzervačních prostředků či obalových prostředků čistý a suchý (bez korozních zplodin, mechanických nečistot, ulpělého potu po omaku rukou, zbytků mastnot a vody). Při aplikaci vodu vytěsňujících konzervačních prostředků a vodných roztoků není nutné povrch výrobků sušit.

Operace dočasné ochrany (čištění, konzervace a balení) se mají provádět na vhodně vybavených pracovištích, umožňujících dodržení stanoveného technologického postupu a příslušných bezpečnostních předpisů. Ovzduší na uvedených pracovištích má být bezprašné, se stálou teplotou min. 15 °C a relativní vlhkost max. 75 %. Teplota místnosti má být udržována tak, aby nedocházelo k orosování výrobků. Výrobky mají mít teplotu stejnou nebo vyšší, než je teplota okolního prostředí.

Výrobky, které pro jejich rozměry nelze konzervovat v uzavřených místnostech, se konzervují na místě jejich uložení (otevřené prostranství, přístřešek apod.) s tím, že je zabezpečena jejich

ochrana před spadem atmosférických nečistot a srážek, teplota ovzduší neklesne pod 10 °C a relativní vlhkost nepřekročí 80 %.

U rozpracovaných výrobků a dílů mezi jednotlivými výrobními operacemi, při vnitrozávodní přepravě, manipulaci a přechodném skladování se provádí mezioperační ochrana. Prostředky pro tento účel se volí s přihlédnutím k obvykle krátkým intervalům požadované protikorozi ochrany, k jednoduchosti aplikace i dekonzervace.

Podle charakteru ochranného působení se konzervační prostředky rozdělují do těchto skupin:

- povlakové (prostředky tvoří na povrchu ochrannou vrstvu),
- inhibitory (prostředky s inhibičními vlastnostmi),
- destimulátory (prostředky s destimulačními vlastnostmi).

Metody dočasné ochrany se volí podle druhu a charakteru výrobku, požadované délky ochrany a podmínek skladování a přepravy. Při výběru konzervačního prostředku, pokud splňuje všechny ostatní požadavky, je třeba dát přednost takovému, který nevyžaduje dekonzervaci nebo u kterého je dekonzervace snadná.

Aby konzervační prostředek dobře plnil požadovanou ochrannou funkci, příp. další nároky, musí být splněny tyto požadavky:

- Konzervační prostředek musí poskytovat dokonalou protikorozi ochranu výrobků pro dané podmínky, tj. za klimatických podmínek, jimiž bude chráněný výrobek vystaven po požadovanou dobu ochrany během skladování a přepravy. Tuto funkci musí plnit buď sám nebo jako součást určitého systému dočasné ochrany (konzervační prostředek + obal apod.).
- Konzervační prostředek ani žádná jeho složka (včetně rozpouštědla, které se odpaří) nesmí působit korozně ani jinak nepříznivě na povrch výrobku, popř. na jiné díly výrobku.
- Konzervační prostředek by měl být snadno a jednoduše aplikovatelný.
- Způsob aplikace musí být přiměřený vlastnostem použitého konzervačního prostředku a musí zabezpečit vytvoření ochranné vrstvy, odpovídající stanovené úrovni protikorozi ochrany.
- Povlak konzervačního prostředku musí být natolik tepelně odolný, aby v podmínkách přepravy a skladování nestékal a nescapeval.
- Konzervační prostředek si musí zachovat svou ochrannou účinnost i další funkční vlastnosti jak při vlastní aplikaci, tak během celého požadovaného intervalu ochrany.
- Konzervační prostředek se po skončení době ochrany má dát snadno odstranit běžnými čisticími prostředky a postupy.
- Použití konzervačního prostředku má být z hlediska hospodárnosti přiměřené ceně výrobku i jeho použití.
- Použití konzervačního prostředku musí být v souladu s bezpečnostními a hygienickými předpisy i technickými podmínkami.

5.2.1.1 Povlakové prostředky

Do skupiny prostředků, tvořících ochrannou vrstvu, se řadí ty materiály (konzervační oleje, konzervační vazelíny, konzervační vosky, snímací laky a hmoty, smývací laky), které na povrchu výrobku vytvářejí bariéru, zabraňující či omezující pronikání korozi složek

atmosféry ke kovu. Propustnost těchto vrstev pro páry a plyny z ovzduší a tím i jejich ochranné účinnost závisí na druhu prostředku a agresivitě prostředí.

Konzervační oleje

Konzervační oleje jsou nejrozsáhlejší skupina povlakových prostředků. Jsou to minerální oleje různé viskozity, bez nebo s rozpouštědlem (úprava viskozity pro snazší aplikaci) a modifikačními přísadami. Vytvářejí tenký (do 20 μm), měkký netvrdnoucí povlak.

Významnou skupinu tvoří tzv. dvoufunkční oleje, které vedle antikorozi funkce mají i mazací vlastnosti. Patří sem konzervačně mazací olej, používaný ke konzervaci hutních tovarů, zvláště pak tenkých karosářských plechů. Pomocí dvoufunkčních olejů se dá vytvořit tenký olejovitý film (1-3 μm) s dobrými ochrannými vlastnostmi. Povlak současně slouží jako mazivo při lisování a tažení ve zpracovatelském závodě.

Konzervační vazelíny

Jsou to směsi minerálních olejů a tuhých uhlovodíků s různým bodem tání, obvykle bez rozpouštědel, s modifikačními přísadami. Vytvářejí tlustší měkké až polotuhé povlaky (nad 20 μm). Konzervační vazelíny se aplikují ponorem při 80 - 90 °C nebo stříkáním při 90 - 120 °C. Natírání není příliš vhodné, neboť je pracné a povlaky mají převážně nízkou ochrannou účinnost (prostředky rychle chladnou a tloušťka povlaku je nerovnoměrná}. Ponorem se získají kvalitní povlaky tloušťky 0,1 - 0,2 mm, které s vhodným obalem mohou chránit proti korozi až několik let. Konzervační vazelíny mají však i některé nevýhody:

- vzhled povlaků je většinou málo estetický,
- aplikace za horka je náročná,
- povlaky na volné atmosféře vlivem slunečního záření poměrně rychle stárnou a praskají.

Pro tropické podmínky jsou méně vhodné pro nízký bod skápnutí. Doba jejich ochrany v těžkých klimatických podmínkách závisí na druhu obalu. Používání konzervačních vazelín se v současné době vzhledem k uvedeným nevýhodám omezuje.

Konzervační vosky

Používají se ve formě roztoků, disperzí nebo emulzí vosků (v mikrokystalické formě) v organických rozpouštědlech nebo ve vodě. Obsahují inhibitory a eventuelně další funkční přísady. Jejich předností, vedle poměrně dobré ochranné účinnosti je, že vytvářejí relativně tenké, většinou transparentní, které v mnoha případech není nutné odstraňovat. Nevýhodou u většiny z nich je pomalejší zasychání a zejména obsah organických rozpouštědel.

Jsou vhodné zejména ke konzervaci velkých výrobků, u nichž lze s výhodou uplatnit stříkání. Bod skápnutí voskových povlaků je většinou poměrně vysoký, což umožňuje jejich využití u výrobků určených do oblastí a vysokými průměrnými teplotami.

Konzervační laky a hmoty

Jsou to polymerní materiály s organickým rozpouštědlem nebo bez něj a s modifikačními přísadami. Vytvářejí tenké i poměrně tlusté pružné povlaky, které lze snadno odstranit sloupnutím po jejich naříznutí nebo smýt rozpouštědlem. Povlaky jsou pevné, s poměrně

dobrou odolností proti mechanickému poškození. Výhodné jsou zejména snímací laky, jejichž povlak bývá pružný a elastický, snadno odstranitelný. Aplikují se především na drobné až středně velké díly.

5.2.1.2 *Inhibitory koroze*

Jsou to látky, které chrání kovy proti korozi tím, že buď pasivují povrch kovu, nebo že na něm vytvářejí velmi tenkou vrstvičku s ochrannými vlastnostmi. Podle toho se dělí na pasivační a adsorpční. Na povrchu výrobků chráněných pasivačními inhibitory nesmí dojít k poklesu koncentrace inhibitoru pod kritickou hodnotu, což může nastat přímým působením dešťové a mořské vody, nadměrnou kondenzací vodních par z ovzduší, nebo u vypařovacích inhibitorů přílišnou výměnou ovzduší nad povrchem výrobku v obalu. Inhibitory koroze se používají jednak jako aditiva do konzervačních prostředků, jednak samotně nebo v rozpouštědlech či na vhodných nosičích, např. na obalových materiálech.

Podle jiného kritéria, které úzce souvisí se způsobem aplikace, se inhibitory koroze dělí na inhibitory kontaktní (inhibitor chrání jen v místech, kde je dostatečná jeho koncentrace) a vypařovací (chrání nejen v přímém kontaktu s kovem, ale i tehdy, působí-li na kov pouze ovzduší obsahující potřebné množství par inhibitoru).

Základní představitelé inhibitorů jsou:

- Dusitan sodný – kontaktní inhibitor pasivačního typu. Chrání ocel a litinu. V kyselém prostředí se rozkládá a nechrání. Používá se jako vodný roztok nízké i vysoké koncentrace (podle koncentrace chrání od několika dní do několika měsíců).
- Benzoan sodný – kontaktní inhibitor adsorpčního typu. Chrání železné materiály. Je vhodný k ochraně výrobků s rovnými plochami.
- Benzoan amonný - vypařovací inhibitor. Chrání ocel a kovy skupiny železa. K niklu, chrómu a hliníku se chová neutrálně, ostatní kovy nechrání. Aplikuje se aerosolováním.

V určitých případech nelze chránit kovové povrchy jiným způsobem než pomocí VCI¹⁶. Jsou to např. elektronické a elektrotechnické prvky a jejich kontakty, a to nejen pro skladování nebo přepravu, ale i za provozu v těch nejtvrdějších podmínkách. Pro tyto účely byly vyvinuty tzv. VCI kapsle. VCI kapsle jsou vlastně přířezy z polyuretanové pěny, v jejichž středu je umístěn VCI koncentrát. Po umístění takové kapsle do uzavřeného prostoru, např. elektrického rozvaděče, se z koncentrátu uvolňují VCI páry a nastartuje se klasický ochranný protikorozní proces.

5.2.1.3 *Destimulátory koroze a vysoušedla*

Destimulátory jsou látky, které mají schopnost vázat korozivní složky atmosféry. Aplikují se ve formě papírů nasycených destimulátorem (roztokem v ethanolu).¹⁷

¹⁶ Pomocí vypařovacího inhibitoru koroze (VCI – z angl. volatile corrosion inhibitor) je možné zajistit, aby součástky nebo výrobky z kovových materiálů byly vždy dodávány čisté, suché, bez klasických konzervačních prostředků a zároveň aby byly dostatečně chráněny proti korozi.

¹⁷ Postup typu „just in time“, tzn. výrobek nebo součástka je kdykoliv připravena k dalšímu použití nebo zpracování.

Vysoušedla jsou látky, které na sebe vážou vlhkost v uzavřeném prostoru (obalu, dutině výrobku). Relativní vlhkost tím poklesne pod kritickou hodnotu, takže koroze nemůže probíhat. Sorpční schopnost vysoušedel může dosáhnout až 35 % při 20 °C a 100 % relativní vlhkosti. Hlavní představitelé vysoušedel jsou silikagel a dehydrosil.

Silikagel je sklovitý a tvrdý granulát se stupněm čistoty 99 % SiO₂ (vztaženo na bezvodý granulát) s velkým specifickým povrchem. Velká plocha dává silikagelu mimořádně velkou kapacitu pro vázání vodní páry při vysoké adsorpční rychlosti. Bylo zjištěno, že silikagel má relativně velký specifický povrch (147 m².g⁻¹) a kationtovou adsorpční kapacitu (12 mmol/100 g). Silikagel s přídavkem kobaltové soli má modrou barvu, není-li jeho adsorpční schopnost vyčerpána. Jakmile je nasycen vodou, zrudne. Silikagel se aplikuje ve volné formě, v papírových nebo textilních sáčcích, či jako náplň v uzávěrech.

Silikagel neznečišťuje životní prostředí a díky svým vlastnostem se lehce ekologicky likviduje. Regeneraci je možno dosáhnout vysokou hospodárností. Doporučené regenerační teploty se pohybují kolem +200°C.

Dehydrosil je vysoušedlo, využívající vysokou sorpční schopnost vybraných druhů bentonitů. Je určen zejména pro obalovou techniku k ochraně výrobků proti korozi. Používá se k odstranění vzdušné vlhkosti uvnitř obalu, při lodní přepravě nebo při dlouhodobějším skladování zboží, vyžadujícího suché prostředí. Dehydrosil je vhodný pro jednorázové použití. Ekologická nezávadnost a inertní povaha tohoto vysoušedla umožňuje jeho likvidaci prostřednictvím komunálního odpadu.

5.2.2 Ochranné balení

Úkolem ochranného balení je částečně nebo úplně izolovat výrobky od nepříznivě působících složek atmosféry (vody, vodních par, prachu, agresivních plynů apod.). Vedle toho má ochranné balení za úkol:

- zabránit porušení a znečištění ochranných vrstev konzervačních prostředků na výrobcích,
- vytvořit podmínky nutné pro správnou funkci zvoleného ochranného prostředku (vypařovacího inhibitoru, vysoušedla apod.),
- chránit výrobky částečně nebo úplně proti mechanickému poškození.

Volba materiálů a způsob ochranného balení výrobků závisí na:

- druhu a konstrukčních zvláštích výrobku,
- stupni korozní agresivity atmosféry v podmínkách skladování a přepravy,
- druhu použitých konzervačních prostředků a metod,
- ekonomických hlediscích.

Ochranné vnitřní balení nakonzervovaných výrobků musí být vždy v souladu s uvažovaným přepravním balením (např. bedny, palety, latění, kontejnery apod.). Účinnost ochranného balení závisí na vlastnostech použitého bariérového obalového materiálu (pevnosti, propustnosti pro vodu, vodní páru a plyny apod.) a na provedení obalu, tj. především těsnosti uzavření, které má být rovnocenné propustnosti použitého obalového materiálu. Charakteristika nejdůležitějších obalových (bariérových) materiálů pro různé varianty ochranného balení je uvedena v tab.23 .

Příklad obalu	Charakteristika obalu
Parafinovaný papír, voskovaný papír apod.	Materiál s omezenou propustností pro vodu a tuky. Používá se ve tvaru archu, pytle, sáčku s jednou nebo několika vrstvami a následným zalepením lepicí páskou, lepidlem, zavázáním provázkem apod.
Mikrokrystalický vosk, hermetizační hmoty apod.	Povlak nepropustný pro vodu a vodní páru, který se nanese na obal (kartónové nebo lepenkové krabice). Nanáší se v jedné nebo ve dvou vrstvách. Aby nedocházelo k slepování, používá se doplňkový obal.
PVC fólie tloušťky 0,2, mm, polyethylenová fólie tloušťky do 0,15 mm, mikrovoskovaná tkanina, vrstvené plastové fólie	Vodotěsný materiál nepropustný pro tuky s propustností pro vodní páru pod 5 g.m^{-2} při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti vzduchu 100 %. Používá se ve tvaru pásky, sáčku, pytle s následným zalepením okrajů nebo jejich svařením.
Polyethylenová fólie minimální tloušťky 0,15 mm, kombinace hliníkové fólie s papírem, plastovou folií, textilem (PE-Al-PET) apod.	Vodotěsný materiál nepropustný pro tuky s propustností pro vodní páru do $0,5 \text{ g.m}^{-2}$ při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti vzduchu 100 %. Používá se ve tvaru pásu, sáčků, pytlů, pouzder s následným svařením, šířka svařeného spoje od 3 do 5 mm.
Pouzdra, nádoby, kontejnery, bedny, truhlíky apod.	Pevný obal (nádoby) různé konstrukce a rozměru nepropustný pro vodu a vodní páru. Používá se k balení jednoho i více výrobků s následným vytvořením hermetického uzávěru (zalepením, utěsněním apod.).
Ocelové nebo hliníkové truhlíky, sudy, hermetické kontejnery apod.	Pevné obaly různé konstrukce a rozměru z kovových materiálů, nepropouštějící olej a vodní páru. Používají se k balení jednoho i více výrobků s následnou hermetizací obalu (uzávěry, kryty, pájení, svařování)

Tab.23 Charakteristika hlavních obalových materiálů

Vnitřní balení jako součást dočasné ochrany má za úkol zabránit přístupu složek atmosféry k výrobku, chránit před poškozením vrstvu konzervačního prostředku, nebo umožnit funkci ochranného prostředku resp. ochranného opatření. Uvnitř obalu vznikne dlouhodobě mikroklima, které:

- chrání proti klimatickým vlivům (nejnižší propustnost pro vodní páru, vodu a kyslík),
- chrání proti aerosolům a agresivním plynům,
- chrání proti UV záření, tukům, olejům a kyselinám,
- chrání proti mikrobiálnímu napadení.

Bariérový obal může být proveden :

- bez možnosti zásahu,
- s občasným otevřením.

Hlavními obalovými materiály jsou ocelový plech, hliníkové fólie (prosté, zušlechtěné a vrstvené), plastové fólie, zušlechtěné a vrstvené papíry, kartony a lepenky, zušlechtěné vrstvené papíry s inhibítorem koroze. Neupravené obalové papíry navlhají a nebezpečí koroze může podporovat i obsah rozpustných solí. Z plastů jsou nejvhodnější fólie z polyethylenu, polypropylenu a PVC (dobrá svařitelnost, pevnost, pružnost, nízká propustnost pro vodní páru, ekologická závadnost). Polyamidové fólie jsou pro vysokou propustnost pro vodní páru nevhodné.

U nakonzervovaných výrobků je přípustné částečné (dílní) balení jednotlivých povrchů nebo částí. Rozměry obalových materiálů u hermetizovaných systémů se musí volit s takovou rezervou, která zabezpečí možnost znovu je použít po prohlídce výrobku během skladování a přepravy.

Příčinou koroze kovových výrobků mohou být dřevěné obalové materiály s vyšším obsahem vody (asi nad 7 %) a navíc se z nich mohou uvolňovat organické kyseliny. Proto se doporučuje řezivo pro obalové účely v případě potřeby vysušet, nebo úměrně k obsahu vlhkosti volit účinnější způsob ochrany výrobků. Rovněž z překližek a velkoplošných materiálů se uvolňují organické kyseliny (octová, mravenčí) a složky lepidel, které urychlují korozi kovů i při nižší relativní vlhkosti vzduchu.



Obaly z plechu se uzavírají zalemováním (vhodnou těsnicí hmotou lze dosáhnout až hermetického uzávěru), pájením či svařováním, které dávají hermeticky těsné spoje. Hliníkové fólie a zušlechtěné papíry bez termoplastické vrstvy se uzavírají přehybem (spoj není zcela vodotěsný a prachotěsný), přebalením, lepením nebo přelepením lepicími páskami (spoje jsou vodotěsné a se sníženou propustností pro plyny).

Doba a účinnost vypařovacích inhibitorů pod vnitřním obalem závisí na neprodyšnosti obalu. Snížení obsahu či úplné odstranění korozivních složek z ovzduší pod obalem, lze zajistit naplněním prostoru pod obalem inertním plynem. Např. výrobky ze stříbra nebo mědi se balí do papíru s obsahem sloučeniny, které na sebe váže plynné sloučeniny síry. Obsah kyslíku v hermetickém obalu lze snížit enzymatickým odbouráváním glukózy za spotřeby kyslíku.

Bariérové materiály s termoplastickou vrstvou na povrchu a fólie z plastů se uzavírají tepelně. Při pečlivém provedení má spoj prakticky stejnou propustnost jako vlastní obalový materiál. Neutěsněné vnitřní obaly se uzavírají zpravidla přehybem a zajišťují převázáním. Funkci neutěsněného obalu mohou plnit i bedny, vyložené vhodným obalovým materiálem.

Vodotěsné obaly se zhotovují z materiálů nepropustných pro vodu. Také uzávěr musí být vodotěsný (zámkové spoje, svary). Utěsněné obaly se sníženou propustností pro plyny a páry se zhotovují z materiálů, které zabezpečují tyto vlastnosti i při ohybu a drobných deformacích. Spoje a uzávěry musí mít rovnocenné vlastnosti jako vlastní materiál. Tyto ochranné systémy musí být chráněny proti mechanickému poškození a zajištěny proti nežádoucímu otevření.

Ochranné obaly s vysoušedly se zhotovují z obalových materiálů s nízkou propustností pro vodní páru. Vysoušedlo před uložením do obalu nesmí obsahovat vodu. Obal se musí po uložení vysoušedla ihned uzavřít. Tyto zásady platí analogicky i u obalů s předsušenými hygroskopickými materiály (fixační materiály, většinou z papíru a lepenky) a obalů s inhibitory koroze, obalů s netečným plynem a vakuových. Evakuace vzduchu z plastového obalu se provádí vhodným vakuovým čerpadlem přes hermeticky uzavíratelný ventil v obalu. Obdobně se postupuje při přípravě obalů s ochrannou atmosférou.

U hermetických obalů a hermetických obalů s neupraveným kryptoklimatem musí obalový materiál i spoje zabránit jakékoliv výměně složek mezi vnitřním prostorem a vnějším prostředím. Fixační materiály se volí se zřetelem na charakter výrobků, druh i vlastnosti použitých obalových materiálů.

Nakonzervované a zabalené výrobky se musí: opatřit manipulačními značkami, které charakterizují jejich ochranu a slouží ke kontrole během přepravy, skladování a při přejímce. Zejména u drahých a citlivých výrobků se doporučuje opatřit bariérový systém zvenku viditelným indikátorem vlhkosti.

Při dekonzervaci je třeba nejjednodušším způsobem odstranit ochranný obal i konzervační prostředek tak, aby nedošlo k poškození výrobků. Dekonzervace není nutná u dílů chráněných polymerními nebo voskovými povlaky, konzervačně mazacími oleji a tuky, vypařovacími a kontaktními inhibitory, jestliže nebudou ovlivňovat funkci zařízení.

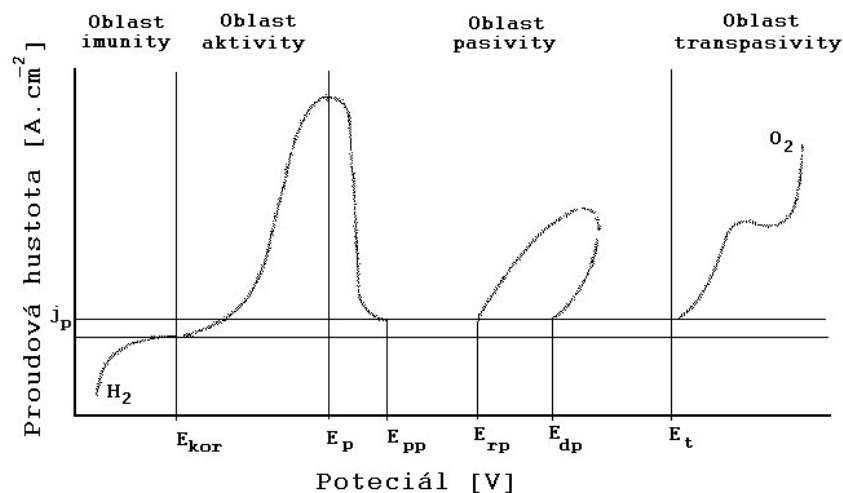
Konzervační vosky stárnou pomalu a lze je proto snadno odstranit všemi běžnými způsoby. Snímací laky se odstraňují naříznutím a stažením. Jestliže se v důsledku větší degradace nedají tímto způsobem odstranit, použije se vhodného ředidla, nebo přípravku pro odstraňování starých nátěrů.

5.3 Odstínění prostředí

5.3.1 Elektrochemická ochrana

5.3.1.1 Anodická ochrana

Anodická ochrana se aplikuje u kovů, které jsou schopné za určitých podmínek přejít do pasivního stavu, ve kterém jsou podstatně odolnější než ve stavu aktivním. Princip této ochrany spočívá v tom, že chráněný kov se uměle udržuje v pasivním stavu, do kterého by se kov v daném prostředí samovolně nedostal. Kov se udržuje v určitém potenciálovém rozmezí (Ep, Et), zodpovídající pasivnímu stavu (obr.16). Chráněný kov je napojený na kladný pól zdroje jako anoda. Ochranný proud zodpovídá v podstatě koroznímu proudu v pasivním stavu.



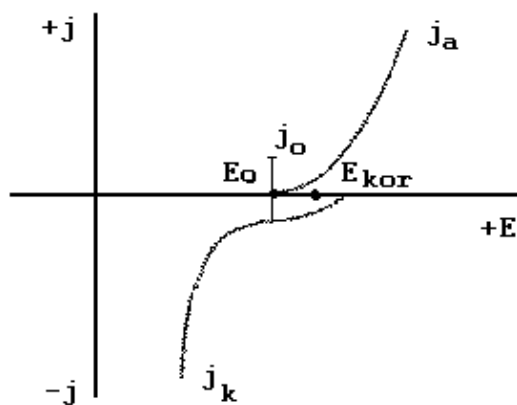
Obr.16 Korozní diagram

Na anodickou ochranu se využívají potenciostaty, které kontrolují potenciál chráněného kovu a automaticky ho udržují na požadované hodnotě. Anodickou ochranu někdy ohrožuje přítomnost iontů, které narušují pasivní vrstvu. Oxidují na povrchu kovu a svou oxidací zvyšují ochranný proud.

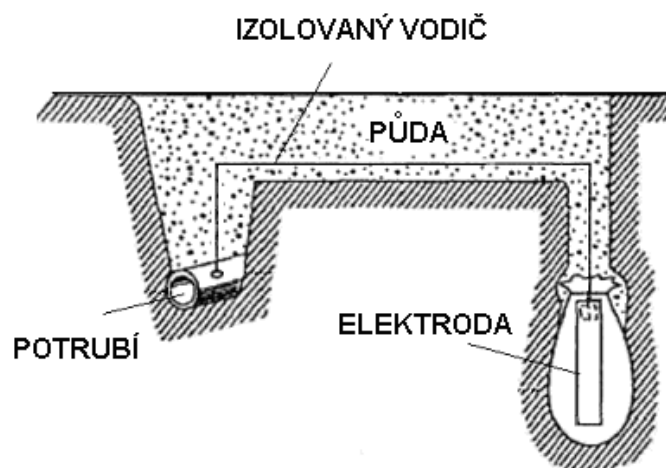
Anodická ochrana se využívá hlavně v chemickém a potravinářském průmyslu při ochraně nekorodujících ocelí v roztocích silných kyselin, hydroxidů a solí, kde tyto kovy bez ochrany podléhají korozi.

5.3.1.2 Katodická ochrana

Katodická ochrana je protikorozní technika, při které se zpomalování nebo potlačování korozního pochodu dosahuje polarizací chráněného kovu posunem potenciálu v negativním směru. Základem katodové ochrany je vytvoření elektrického obvodu (se stejnosměrným proudem), ve kterém je v korozním prostředí chráněný předmět katodou. Korozní proces se řídí nebo ovládá tím, že se anodická reakce přesune na pomocnou anodu. Katodová ochrana se volí u kovů s výraznou oblastí imunity, u kterých je rychlost koroze chráněného kovového materiálu minimální a k jejímu dosažení nejsou potřebné vysoké proudové hustoty.

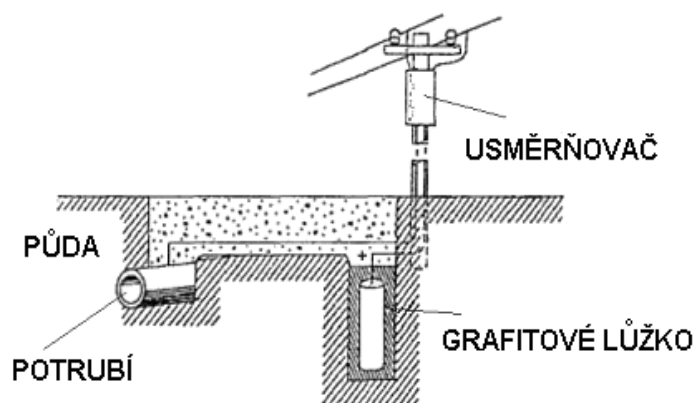


Obr.17 Princip dvojelektrodového katodicky chráněného systému



Obr.18 Katodická ochrana s obětovanou anodou

Princip katodické ochrany se dá vysvětlit na polarizačním diagramu (obr.17). Posun potenciálu k záporným hodnotám od korozního potenciálu se dosáhne při hodnotě E_0 , která se nazývá minimálním ochranným potenciálem. V tomto stavu imunity E_0 musí být zachována proudová rovnováha na anodě a katodě. Znamená to, že do systému musí být dodaná proudová hustota j_0 , která se nazývá minimální ochranná proudová hustota. Takto se kov stabilizuje a korozní ztráty jsou z technického hlediska zanedbatelné. Katodová ochrana se většinou používá v kombinaci s ochrannými vrstvami (pasivní ochranou), čím se výrazně snižuje hodnota polarizačního proudu na dosažení požadovaného účinku.



Obr.19 Katodická ochrana s vnějším zdrojem proudu

Základním principem katodické ochrany je záměrné vytvoření elektrického obvodu, ve kterém je chráněný předmět katodou. Dosahuje se toho vodivým spojením chráněného předmětu s kovem, který má v daném prostředí zápornější potenciál než kov chráněný (obr.18). Tak vznikne umělý galvanický člunek. Elektrolyt tvoří korozní prostředí a připojený kov se zápornějším potenciálem je anodou, která se nazývá galvanická anoda (obětovaná anoda, protektor).

Když je chráněný kov připojený k zápornému pólu zdroje stejnosměrného proudu a kladný pól zdroje je spojený s pomocnou anodou, umístěnou do korozního prostředí, hovoříme o katodové ochraně s vnějším zdrojem proudu (obr.19).

Mezi oběma způsoby katodové ochrany není zásadní rozdíl, neboť pro dosažení ochrany má význam elektrický proud, a to bez ohledu na to, jak vznikl.

Pro zajištění optimální účinnosti ochrany u všech druhů galvanických anod je nutné zajistit v praxi, aby galvanické anody splňovaly tyto požadavky:

- Poskytovat maximální množství elektrické energie na jednotku hmoty anody.
- Minimální ztráty kovu v důsledku samorozpuštění účinkem galvanických článků na jejich povrchu.
- Dodávat maximální hodnotu potenciálu „anoda-kovový plášť“.
- Zaručovat dlouholetou životnost ve vztahu k optimální hodnotě dodávaného proudu (alespoň 10 let provozní činnosti).
- Co nejnižší pořizovací a provozní náklady (výrobní, montážní a údržby).

Galvanické anody se vyrábějí z hořčíku, hliníku nebo zinku. Nejlépe vyhovují výše uvedeným požadavkům anody z hořčíkových slitin. Samočinné rozpouštění hořčíkových anod lze velmi účinně omezit, bude-li dbáno na to, aby se do jejich chemického složení nedostaly nad dovolenou mez nežádoucí příměsi, jako např. železo, nikl a měď. Další možnost omezení samočinného rozpouštění těchto anod poskytuje dobrá úprava aktivátoru (optimální chemická a fyzikální homogenita aktivační směsi používaná na obkládání galvanických anod).

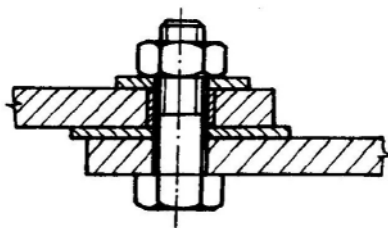
Dodržování chemického složení aktivačních směsí pro každý druh anody je velmi důležité. Větší množství zásaditých materiálů může vyvolat např. u zinkových a hliníkových anod zvýšení záporných potenciálů v důsledku jejich amfoterních vlastností, čímž se korozní zplodiny na povrchu zinkových a hliníkových anod rozpouštějí trvale a nevytvářejí pasivační vrstvu na povrchu těchto anod. Anody tím pracují bez přerušení a poměrně rychle se opotřebovávají.

Základní komponenty aktivační směsi obvykle tvoří sádra, *bentonit* (prosátá zemina), síran horečnatý a malé množství chloridu sodného. Při sestavování této směsi je nutné dbát na to, aby obkladová směs byla co nejlépe promíchána, aby se dosáhlo optimální chemické a fyzikální homogenity. Aktivační směsi se obvykle připravují v suchém stavu a celkové množství se určuje tak, aby bylo možné vytvořit okolo galvanické anody obalovou vrstvu o tloušťce 6 až 8 cm (podle velikosti anody).

5.3.2 Zrovnoměrnění podmínek prostředí

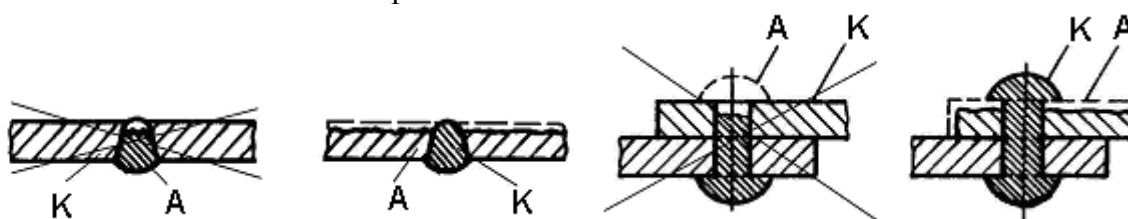
5.3.2.1 Styk dvou vodivých materiálů

V praxi se často vyskytuje nutnost spojit dva kovy s různým elektrodovým potenciálem. V agresivnějším prostředí mohou vznikat v takovémto spojení korozní makročlánky, a to i pod případným nátěrem. Pokud to je z konstrukčního hlediska možné, lze tento nežádoucí jev omezit vložením izolační vložky (obr.20). U svařovaných dílů by se mělo dbát na to, aby větší plocha (svařované části) vykazovala anodové vlastnosti (obr.21).



Obr. 20 Příklad zamezení vzniku makročlánku

V elektrotechnice je občas nutné spojit hliníkový a měděný vodič. Při přímém spojení těchto kovů by mohl vzniknout galvanický člunek, který by spoj korozním procesem poškodil. Proto se pro tyto účely používá cupal, kombinace hliníku a mědi, buď ve formě plechu, u něhož jsou na hliníkový plech po obou stranách naplátované vrstvy elektrolytické mědi, nebo ve formě drátu, který se skládá z hliníkové vložky, na které je měděná povrchová vrstva o tloušťce asi 15 % celkového průměru drátu.



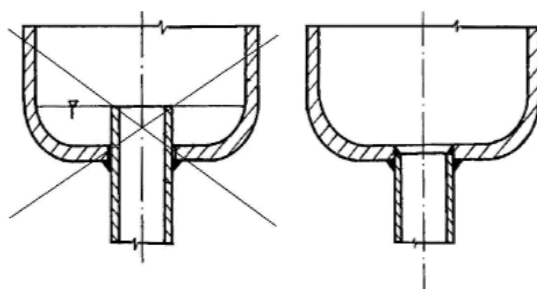
Obr.21 Koroze svařovaného a nýtovaného spoje

5.3.2.2 Vložení izolátorů

V oblastech s intenzivními bludnými proudy (např. při vstupu nebo výstupu kabelu do tunelů metra) se používají u kovových plášťů kabelů izolační spojky. Pomocí izolačních spojek se přerušuje kontinuita kovových plášťů kabelů. Tím se zvýší celkový podélný odpor kovových plášťů kabelů. To má za následek snížení celkové intenzity bludných proudů, které ohrožují kabely elektrolytickou korozi.

5.3.2.3 Omezení doby styku

Zkrácením styku agresivního prostředí s povrchem se dá významně omezit korozní poškození. Konstrukční řešení by mělo být navrženo tak, aby se agresivní prostředí nikde nezdržovalo déle než je nezbytné (obr.22). Korozní reakce ovlivňuje pohyb předmětu a prostředí. Obvykle bývá mírné proudění příznivé, neboť zabraňuje usazování nečistot a sedimentů na povrchu. Na druhé straně zvýšené proudění může odstraňovat z povrchu korozní produkty, porušovat povrchovou ochranu a tak způsobovat vznik korozních mikročlánků.



Obr.22 Umístění odtokového potrubí na dně nádoby

Zesílení koroze může být způsobeno dalšími vlivy prostředí, např. přestupem tepla nebo mechanickým namáháním.

5.3.3 Krytí

Určitou formou ochrany elektrotechnického zařízení před působením vnějšího prostředí je volba vhodného stupně krytí podle IEC 529. Krytí zařízení se označuje zkratkou IP (International Protection) a dvojmístným číslem. Jednotlivá čísla popisují způsob:

- ochrany proti dotyku osob před živými částmi, nebo ochrany zařízení proti vniknutí cizích pevných těles (tab.24)
- ochrany zařízení uvnitř krytu proti škodlivému vniknutí vody (tab.25)

Jako ochrana vůči degradačnímu působení vnějšího prostředí připadají v úvahu stupně krytí IP5-6x a IPx1-8.

První číslice:		
	Stupeň ochrany osob	Stupeň krytí pro použité prostředky
0	Bez ochrany	Bez ochrany
1	Ochrana před přístupem k nebezpečným částem dotykem ruky	Zkušební sonda, koule o $\varnothing \leq 50$ mm, nesmí vniknout celým objemem do zařízení
2	Ochrana před přístupem k nebezpečným částem dotykem prstu	Zkušební sonda, koule o $\varnothing \leq 12,5$ mm, nesmí vniknout celým objemem do zařízení
3	Ochrana před přístupem s pomocí nástroje	Zkušební sonda, kulička o $\varnothing \leq 2,5$ mm, nesmí žádnou částí vniknout do zařízení
4	Ochrana před přístupem k nebezpečným částem drátem	Zkušební sonda, kulička o $\varnothing \leq 1,0$ mm, nesmí žádnou částí vniknout do zařízení
5	Částečná ochrana proti vniknutí prachu	Vniknutí prachu není úplně vyloučené, ale prach nesmí vniknout v takovém množství, aby ovlivnil uspokojivou funkci přístroje
6	Ochrana před vniknutí prachu	Prachotěsné

Tab.24 Stupně krytí pro ochranu osob a proti vniknutí cizích těles

Druhá číslice:		
Stupeň krytí vůči vodě		
	Zkrácený popis	Definice
0	Bez ochrany	-
1	Ochrana proti kapající vodě	Kolmo padající kapky nesmí mít žádný škodlivý účinek (kondenzovaná voda)
2	Ochrana proti kapající vodě do 15°	Kolmo padající kapky nesmí mít žádný škodlivý účinek, pokud se zařízení nakloní o 15° na obě strany od kolmice (mírný déšť)
3	Ochrana proti šikmo dopadající vodě do 60°	Voda rozprašovaná pod úhlem do 60° po obou stranách od kolmice nesmí mít žádné škodlivé účinky (šikmý déšť)
4	Ochrana proti stříkající vodě	Voda stříkající na zařízení ze všech směrů nesmí mít žádné škodlivé účinky
5	Ochrana proti tekoucí vodě	Proud vody dopadající na zařízení ze všech směrů nesmí mít žádné škodlivé účinky
6	Ochrana proti silně tekoucí vodě	Silný proud vody dopadající na zařízení ze všech směrů, nesmí mít žádné škodlivé účinky
7	Ochrana před účinky dočasného ponoření do vody	Když se zařízení dočasně ponoří do vody pod normovaným tlakem a po stanovenou dobu, voda nesmí vniknout v množství, které má škodlivé účinky
8	Ochrana před účinky dlouhodobého ponoření do vody	Když je zařízení dlouhodobě ponořené do vody, voda nesmí vniknout v množství, které má škodlivé účinky (tlaková ochrana)

Tab.25 Stupně krytí vůči vodě

5.3.4 Uzavření, hermetizace

Další z cest, jak omezit negativní vliv prostředí, je hermetizace. Hermetizací je myšleno vložení chráněného výrobku do pouzdra, které je:

- trvale zavřeno,
- příležitostně otvíráno.

Prostředí uvnitř pouzdra může být:

- vyčerpáno,
- vyplněno inertním plynem,
- vyplněno původní atmosférou.

V případě, že není atmosféra uvnitř pouzdra upravovaná, je nutné dbát na to, aby při uzavírání pouzdra neobsahovala vnější atmosféra škodlivé polutanty. Technickým problémem

hermetizace je volba materiálu pouzdra a způsob provedení vývodů z pouzdra. Podle typu součástky (výrobku) se volí materiál pouzdra. Ten může být:

- keramický,
- plastový,
- kovový,

Jestliže *pouzdrěný* výrobek při svém provozu produkuje teplo, je nutné zajistit jeho odvod. V tomto případě vyhovuje pouzdro kovové. Vývody z kovového pouzdra musí být odizolované a musí být provedeny tak, aby nemohla v místě prostupu vývodu z pouzdra vnikat do pouzdra vnější atmosféra.

Izolace vývodů bývá pryžová, plastová, nebo vývody mohou být do pouzdra zatmeleny např. epoxidovou pryskyřicí. Vnější povrch kovového pouzdra musí být z hlediska působení vnější atmosféry povrchově chráněn. Ani dokonale těsné pouzdro neposkytuje záruku, že nedojde např. k migraci chloridových iontů po vývodech dovnitř pouzdra.

U příležitostně otvíraných pouzder jsou problémy s těsností víka a pouzdra. Během otvírání může dojít k porušení těsnění, nebo mohou např. z pryžového těsnění unikat sirnaté složky, které při určité koncentraci mohou vyvolat korozní proces.

Napětí stroje[kV]	Při relativní vlhkosti [%]	
	75	80
35	24	16
100 až 400	16	10

Tab.26 Přípustné doby otevření točivého stroje

Technika trvale uzavřeného pouzdra (zapouzdrění) se aplikuje v elektronice při výrobě integrovaných obvodů (zapouzdrěování čipů). Technika odstínění prostředí se aplikuje i při provozu silnoproudých zařízení. Tak např. u točivého stroje v provedení IPx1 (krytí proti vlhkosti) může při otevření vniknout z ovzduší vlhkost a ta způsobit navlhnutí izolace. Rychlost navlhání pevné izolace je ovlivněna teplotou, relativní vlhkostí okolního ovzduší a rozdílem teplot vinutí a okolí v závislosti na času. Proto při otevření stroje musí teplota aktivních částí izolační soustavy převyšovat rosný bod okolního ovzduší alespoň o několik stupňů, (doporučuje se nejméně o 5 °C, přičemž teplota nemá být nižší než 10 °C). Jestliže není tato podmínka splněna, musí se stroj zahřát. Doba otevření stroje je omezena jeho jmenovitým napětím (tab.26). Bude-li tato doba prodloužena, je nutné stroj v každém případě sušit.¹⁸

Základní literatura k problematice konstrukčního řešení [9], [10], [11], [12].

¹⁸ Při relativní vlhkosti větší než 80% se nedoporučuje stroj otevírat vůbec.

Literatura

- [1] Všeobecné směrnice pro elektrotechnická zařízení určená do ztížených klimatických podmínek, Praha SVÚSE-T 1120 1965
- [2] Černý M. a kol. Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů. Praha, SNTL 1984
- [3] Bartoniček, R. a kol: Korozní ochrana kovů. Praha, Academia 1966
- [4] Kolektiv SVÚOM: Směrnice pro ochranu strojírenských a elektrotechnických výrobků proti vlivům prostředí – I Obecné základy. Praha, SVÚOM 1985
- [5] Kolektiv SVÚOM: Směrnice pro ochranu strojírenských a elektrotechnických výrobků proti vlivům prostředí – II Korozní vlastnosti kovových materiálů a zásady konstrukčního řešení výrobků. Praha, SVÚOM 1985
- [6] Kolektiv SVÚOM: Směrnice pro ochranu strojírenských a elektrotechnických výrobků proti vlivům prostředí – III Ochrana výrobků povlaky. Praha, SVÚOM 1985
- [7] Kolektiv SVÚOM: Směrnice pro ochranu strojírenských a elektrotechnických výrobků proti vlivům prostředí – IV Klimatická odolnost organických materiálů. Praha, SVÚOM 1985
- [8] Kolektiv SVÚOM: Směrnice pro ochranu strojírenských a elektrotechnických výrobků proti vlivům prostředí – V Materiály pro elektrotechniku a zásady konstrukce elektrotechnických zařízení. Praha, SVÚOM 1985
- [9] Kolektiv SVÚOM: Směrnice pro ochranu strojírenských a elektrotechnických výrobků proti vlivům prostředí – VI Dočasná ochrana. Praha, SVÚOM 1985
- [10] Bartoň, K.- Lapka, J.: Racionální ochrana ocelových konstrukcí. Ostrava, Technický zpravodaj VŽKG, příloha 2, 1984
- [11] Kolektiv SVÚOM: Konstrukční a technologické směrnice pro ochranu výrobků nátěry. Praha, SVÚOM 1986
- [12] Kolektiv SVÚOM: Konstrukční a technologické směrnice pro smaltované ocelové výrobky. Praha SVÚOM, 1985
- [13] Kreibich V.: Teorie a technologie povrchových úprav. Praha Vydavatelství ČVUT 1999
- [14] Suchánek V., Stinalová H., Kreibich V.: Speciální technologie povrchových úprav. Praha Vydavatelství ČVUT 1993
- [15] Polák, J.: Katodická protikorozní ochrana a způsoby snižování koroze bludnými proudy. Praha, Chemoprojekt Praha 1992.
- [16] Kostadinov D.: Ochrana sdělovacích kabelů před korozi. Praha NADAS 1983
- [17] Kudláček I.: Degradací procesy I. Praha ČVUT 1994

Normy

Vybrané normy z oboru:

- [N1] ČSN EN 12500 038202
Ochrana kovových materiálů proti korozi - Pravděpodobnost koroze v atmosférickém prostředí - Klasifikace, stanovení a odhad korozní agresivity atmosférického prostředí
- [N2] ČSN ISO 9223 038203
Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosfér. Klasifikace
- [N3] ČSN ISO 9224 038208
Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosfér. Směrné hodnoty pro stupně korozní agresivity
- [N4] ČSN ISO 11303 038204
Koroze kovů a slitin - Směrnice pro volbu způsobů ochrany proti atmosférické korozi
- [N5] ČSN 03 8205
Ochrana proti korozi. Všeobecné požadavky na dočasnou ochranu kovů
- [N6] ČSN ISO 8501-1 03 8221
Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků
- [N7] ČSN EN ISO 8503-1 038223
Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Metody přípravy povrchu – Část 1: Obecné zásady

Zrušené ČSN z oboru:

- [N8] ČSN 03 8204
Určování korozní agresivity atmosfér pro kovy a kovové povlaky
- [N9] ČSN 03 8207 (zrušená)
Ochrana kovových výrobků proti působení klimatu během skladování. Základní podmínky
- [N10] ČSN 03 8220 (zrušená)
Zásady povrchové úpravy nátěrem
- [N11] ČSN 03 8221 (zrušená)
Ochrana proti korozi. Ocelové výrobky. Metody úpravy povrchu před nátěrem

Ostatní normy:

- [N12] IEC 654-4
Operating conditions for industrial process measurement and control equipment

Přílohy

Příloha I.

Příklad dotazníku pro získání podkladů k řešení ochrany dodávek do ztížených klimatických podmínek

1. Zákazník:
2. Předmět dodávky:
3. Adresa místa, kam je zařízení určeno (nebo zeměpisná souřadnice):
4. Nadmořská výška:
5. Vzdálenost od pobřeží (jde-li o pobřežní oblast):
6. Bližší charakteristika pobřeží (jen při menších vzdálenostech než 1 km) jako skalnatá s příbojem, bez příboje, mírně se svažující břeh, místo je odděleno od moře náspem, lesem, kopcem, z místa je volný pohled na moře atd.:
7. Bližší popis místa, kam je zařízení určeno, např. volné prostranství bez budov, město, město s průmyslem (jakým), lesnaté krajina, reliéf terénu v okolí, vodní plochy, poušť, step atd.:
8. Převládající znečištění ovzduší (druh, koncentrace) v místě určení, příp. v jeho okolí:
9. Nejvyšší teplota v létě a přibližné trvání období s teplotním maximem nad 30 °C v poledne:
10. Nejvyšší ranní vlhkost v létě:
11. Nejnižší teploty v zimě:
12. Délka období deště:
13. Kdy je nejvlhčí období a jak dlouho trvá (je pozorovatelné orosování stěn uvnitř budov, je pozorovatelný zvýšený výskyt plísní na dřevu, kůži, potravinách apod.):
14. Výskyt zemětřesení:
15. Výskyt písečných a prašných bouří:
16. Výskyt cyklonů, tajfunů, záplav:
17. Výskyt termitů:
18. V jakém provozním prostředí a za jakých podmínek bude zařízení pracovat, v jaké místnosti (druh budovy, stavební materiál, které patro, druh podlahy, vytápění, klimatizace atd.), pod otevřeným přístřeškem (druh střechy - krytiny), na volném prostranství (vystaveno slunečnímu záření, stíněno, množství srážek za rok, doba a intenzita slunečního záření atd.):
19. Podmínky skladování dodávky před instalací (volné složiště bez přístřešku, s přístřeškem, kryté sklady bez vytápění, vytápěné, pravděpodobná doba skladování, podmínky pro obnovu dočasné ochrany atd.):
20. Podmínky provozu zařízení (trvalý, občasně přerušovaný, sezónní), délka pracovní doby a přestávky):
21. Jaká chladicí voda je k dispozici (vodovodní, říční, mořská, tvrdost, chemické složení, teplota):
22. Podmínky dopravy na místo určení (námořní, říční, železniční, silniční, předpokládaná doba a trvání přepravy, její trasa, zvláštní požadavky na přepravu, např. přípustné zatížení dopravního prostředku, průjezdný profil, stav vozovek, předpokládaný způsob uložení na lodi atd.):
23. Zařízení bude obsluhováno kvalifikovanými, nekvalifikovanými, zaškolenými silami:
24. Další poznámky o podnebí a provozu:

Příloha II.

Spínací skříň (rozvaděč) pro montážní práce při výstavbě hutního kombinátu.

Určení zařízení a jeho materiálová základna

Spínací skříň rozměrů 2400 x 1300 x 800 mm je určena pro rozvod elektrické energie k různým silnoproudým montážním spotřebičům při výstavbě hutního kombinátu ve vlhké tropické oblasti Nigérie asi 400 km od pobřeží. Objekt se staví v průmyslové oblasti s důlním průmyslem a energetickou výrobou na bázi uhlí.

Požadavky na systémy ochrany

Na zařízení se kladou výhradně funkční požadavky (spolehlivost), nikoliv požadavky estetické, při použití se připouští prorezavění nátěru v důsledku mechanického poškození. Zařízení bude v provozu přerušované. Spínací skříň může být umístěna na volném prostranství nebo pod přístřeškem. Z jejího umístění vyplývá korozní agresivita provozního prostředí stupně C4 až C5.

Spínací skříň bude přepravována spolu s dalším technologickým zařízením hutního kombinátu po trase ČR-Štětín po železnici, Štětín-Lagos po moři, Lagos-místo určení po řece a silnici. Doba přepravy a skladování na místě určení je 1 rok. Stupeň korozní agresivity vnějšího prostředí dosahuje C4 až C5 a musí být eliminován dostatečně systémem dočasné ochrany.

Plášť spínací skříně je zhotoven ze za studena válcovaných uzavřených profilů obdélníkového průřezu, z lisovaných profilů tvaru L a ze za studena válcovaného ocelového plechu tloušťky 1,2 mm. Všechny materiály jsou tř. 11. Elektrická výstroj skříně má provedení pro tropické vlhké prostředí pod přístřešek. Některé prvky elektrovýstroje jsou v provedení pro vlhké tropy do uzavřených, nevytápěných provozů.

Složky systému ochrany

Jelikož část elektrické výstroje spínací skříně neodpovídá požadovanému druhu klimatického provedení a zařízení je pouze v periodickém provozu v podmínkách vlhkého tropického klimatu, je třeba upravit kryptoklima skříně tak, aby v periodách provozního klidu nehrozila kondenzace vodní páry a navlhání elektrické výstroje.

Navrhnout skříň jako plně hermetickou je sice možné, ale výrobně náročné a s ohledem na podmínky provozu (přemístování) nespolehlivé. Proto se úprava kryptoklimatu řeší přitápěním a nuceným větráním vnitřního prostoru skříně, které zabezpečí výměnu vzduchu uvnitř prostoru nejméně za dvě minuty. Vzduch se topným odporem zahřívá asi na 50 °C. Chladný vzduch se do skříně nasává drenážními otvory na spodní ploše skříně a ohřátý vzduch se odvádí větracími žaluziovými prolisy na horní části bočních stěn skříně. Otvory jsou zevnitř zakryty sítkou z korozivzdorné oceli nebo mědi pro zamezení vnikání hmyzu. Přídavné topné a větrací zařízení je umístěno bezprostředně na sacím otvoru a zapíná se automaticky při poklesu teploty kryptoklimatu skříně v rozmezí 20 až 40 °C s nastavením podle místních a sezónních podmínek relativní vlhkosti tak, aby její hodnota byla vyšší než teplota rosného bodu. S ohledem na krátkou požadovanou životnost spínací skříně jako celku a dostatečnou tloušťku použitých konstrukčních materiálů se nekladou zvláštní požadavky na řešení její nosné kostry a opláštění. Složkou systému ochrany je dále požadavek, aby spodní hrana spínací skříně byla při funkci umístěna nejméně 0,5 m nad terénem.

Nátěry

Pro nátěr kostry a opláštění skříně se zvolí nejméně třívrstvý netmelený nátěr (syntetický alkydový nebo epoxidový) nanesený na odmaštěný povrch bez rzi a okují. Svary a jejich okolí se před odmaštěním obrousí. Odmaštění lze provést horkou vodou (párou) s přísadou 0,5 % odmašťovacího prostředku přístrojem typu WAP. Po odmaštění se povrch opláchně teplou vodou. Znaky jakosti nátěru:

- stav povrchu před nanášením základního nátěru (vizuálně kontrola nepřítomnosti rzi a okují po svařování)
- tloušťka nátěru - dolní toleranční mez 80 μm

Kovové povlaky

Elektrolyticky vyloučený zinkový povlak na oceli (mimo spojovací materiál). Niklové povlaky (mimo spojovací části). Kovové povlaky spojovacích dílů šroubů, matek, podložek (pro díly do rozměru M8 max. 5 μm). Doporučuje se použít mosazný spojovací materiál - poniklovaný. U pozinkovaných dílů je vhodný po montáži dodatečný jednovrstvý nátěr.

Dočasná ochrana

S ohledem na charakter a rozměry zařízení, agresivitu přepravní trasy a na požadovanou dobu účinnosti se předepíše systém ochrany založený na vytvoření ochranného kryptoklimatu v obalu, (vnitřní obal z dostatečně tlusté svařené polyethylenová fólie, vysoušedlo uvnitř spínací skříně i vně profilu vnitřního obalu).

Rejstřík

A		koruze transkrystalová	26
abraze	8	korozivzdorná ocel	34
antifrikční funkce	49	korozní agresivita	13
antioxidant	41	korozní napadení	24
antiozonant	41	korozní rychlost	13
Atmofix	33	kritická vlhkost	17
atmosférická koruze	17	kryptoklima	6
		křehkost vodíková	29
B		M	
bentonit	88	makroklimatická oblast	5
bobtnání	20	mechanické namáhání	19
		mezoklima	6
Č		mikrobiální koruze	21
čpavek	18	mikroklima	6
		mikroorganismy	19
D		O	
dehydrosil	82	oblast alternativní	9
dekonzervace	78	oblast horská	10
depoziční rychlost	12	oblast přímořská	10
destimulátory	79	oblast studená	6
doba ovlhčení	11	oblast tropická vlhká	8
		oblast tropická suchá	7
F		odzinkování	30
fretting	24	ochrana anodická	86
		ochrana katodická	86
Ch		oxid siřičitý	18
chromátování	51	oxid uhličitý	18
		oxidy dusíku	18
K		ozónové praskání	20
kapilární kondenzace	17	P	
klasifikace znečištění	13	pitting	25, 31
klima chemických provozů	11	pouzdření	92
klima městské	10	R	
klimatizace	7, 76	reaktoplasty	40
konstrukční uspořádání	16	S	
konzervační laky a hmoty	80	sezónní praskání	30
konzervační oleje	80	silicagel	82
konzervační vazelíny	80	sirovodík	18
konzervační vosky	80	sluneční záření	8
koruze	17		
koruze mezikrystalová	26		
koruze podpvrchová	26		
koruze rovnoměrná	24		
koruze skvrnitá	26		

T		V	
technologické provedení	16	vítr	19
technologičnost konstrukce	49	vlákna anorganická	44
termoplasty	38	vlákna syntetická	44
trvalé změny	16	vnitřní prostředí	14
		vratné změny	16
U		W	
umístění výrobku	15	whisker	24
úroveň znečištění	12		

Obsah

ÚVOD	4
I. OBECNÉ ZÁSADY	5
1.1 Charakterizace znehodnocujících vlivů	5
1.1.1 Základní znehodnocující faktory	5
1.1.1.1 Klimatické podmínky	5
1.1.1.2 Znečištění ovzduší	11
1.1.1.3 Umístění výrobku	15
1.1.1.4 Provedení výrobku a jeho provozní podmínky	16
1.2 Vliv činitelů prostředí na základní typy materiálů	16
1.2.1 Kovy a kovové materiály	17
1.2.1.1 Vliv vlhkosti	17
1.2.1.2 Vliv znečištění	18
1.2.1.3 Vliv teploty	19
1.2.1.4 Další vlivy	19
1.2.2 Organické materiály a izolanty	19
1.2.2.1. Vliv vlhkosti	20
1.2.2.2 Vliv znečištěné atmosféry	20
1.2.2.3 Vliv větru	20
1.2.2.4 Vliv teploty	21
1.2.2.5 Vliv slunečního záření	21
1.2.2.6 Vliv mikroorganismů	21
1.2.2.7 Ostatní vlivy	21
1.3 Způsoby ochrany výrobků proti klimatickým a korozním vlivům	22
II. VOLBA MATERIÁLŮ	24
2.1 Kovové materiály	24
2.1.1 Cín	24
2.1.2 Hliník a slitiny hliníku	25
2.1.3 Hořčík a slitiny hořčíku	27
2.1.4 Chrom	27
2.1.5 Kadmium	28
2.1.6 Litina	28
2.1.7 Měď a slitiny mědi	29
2.1.8 Nikl	31
2.1.9 Ocel	31
2.1.9.1 Uhlíkové a nízkolegované oceli	32
2.1.9.2 Patinující nízkolegované oceli	33
2.1.9.3. Vysokolegované oceli	34
2.1.10 Olovo	35
2.1.11 Palladium a slitiny palladia	35

2.1.12 Stříbro a slitiny legované stříbrem	35
2.1.13 Zinek.....	36
2.1.14 Zlato a kovy skupiny platiny	37
2.2 Organické materiály	38
2.2.1 Plasty	38
2.2.1.1 Zásady použití plastů 38	
2.2.1.2 Vlastnosti vybraných druhů plastů 38	
2.2.2 Pryže.....	41
2.2.2.1 Zásady použití pryží 41	
2.2.2.2 Vlastnosti vybraných pryží 41	
2.2.3 Dřevo.....	43
2.2.4 Textilní materiály	43
2.2.4.1 Zásady pro používání textilních materiálů 43	
2.2.4.2 Vlastnosti vybraných textilních vláken 44	
2.2.5 Elektrotechnické materiály.....	45
2.2.5.1 Vrstvené materiály 46	
2.2.5.2 Lisovací hmoty 46	
2.2.5.3 Impregnační a elektroizolační hmoty 46	
2.2.5.4 Lepenky a drážkové izolace 47	
2.2.5.5 Lakované tkaniny a papíry 47	
2.2.5.6 Azbestové materiály 47	
III. VOLBA POVRCHOVÝCH OCHRAN	48
3.1 Ochrana kovovými povlaky.....	50
3.1.1 Povlaky vyloučené elektrolyticky	50
3.1.1.1 Zinkové a kadmiové povlaky 51	
3.1.1.2 Niklové povlaky 51	
3.1.1.3 Ozdobné ochranné povlaky (měď) - nikl – chrom 52	
3.1.1.4 Měděné povlaky 52	
3.1.1.5 Chromové povlaky 53	
3.1.1.6 Cínové povlaky 53	
3.1.1.7 Slitinové povlaky Zn-Sn 53	
3.1.1.8 Slitinové povlaky Pb-Sn 53	
3.1.1.9 Stříbrné povlaky 53	
3.1.1.10 Zlaté povlaky 53	
3.1.1.11 Rhodiové povlaky 54	
3.1.2 Povlaky vytvořené metalizací	54
3.1.3 Povlaky vytvořené ponorem do taveniny.....	55
3.1.4 Další technologie vytváření kovových povlaků	56
3.1.4.1 Termochemické chromování (inchromování) 56	
3.1.4.2 Pokovování ve vakuu 57	
3.1.4.3 Povlaky vyloučené bezproudově 57	
3.2 Ochrana organickými povlaky.....	58
3.2.1 Organické nátěry	58
3.2.2 Práškové plasty.....	60
3.3 Ochrana anorganickými nekovovými povlaky.....	60

3.1.1 Fosfatizace.....	60
3.1.2 Chemická oxidace	61
3.1.3 Anodická oxidace	61
3.1.4 Smaltování.....	62
IV. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	64
4.1 Strojní díly	64
4.1.1 Profilové konstrukce	64
4.1.2 Spojování dílů	66
4.1.2.1 Svařované díly	66
4.1.2.2 Překládané plechy	67
4.1.2.3 Šroubové a nýtové spoje	68
4.1.2.4 Lepené spoje	68
4.1.3 Ložiska	69
4.1.4 Pružiny	69
4.1.5 Spojovací materiál.....	69
4.1.6 Ostatní konstrukční díly	70
4.1.6.1 Štěrbiny	70
4.1.6.2 Částečně uzavřené prostory	70
4.1.6.3 Duté uzavřené profily	71
4.1.6.4 Kombinace různých kovů	71
4.2 Elektrotechnické díly	72
4.2.1 Elektronické prvky a systémy	72
4.2.2 Vodiče a kabely	72
4.2.3 Venkovní izolátory.....	73
4.2.4 Kontakty a spoje.....	73
4.2.5 Povrchové cesty.....	74
V. OMEZENÍ VLIVU PROSTŘEDÍ	75
5.1 Úprava prostředí	75
5.1.1 Přítápění, chlazení	75
5.1.2 Klimatizace a čištění vzduchu.....	76
5.2 Dočasná ochrana	78
5.2.1 Konzervace.....	78
5.2.1.1 Povlakové prostředky	79
5.2.1.2 Inhibitory koroze	81
5.2.1.3 Destimulátory koroze a vysoušedla	81
5.2.2 Ochranné balení.....	82
5.3 Odstínění prostředí	85
5.3.1 Elektrochemická ochrana	85
5.3.1.1 Anodická ochrana	85
5.3.1.2 Katodická ochrana	86
5.3.2 Zrovnoměnění podmínek prostředí.....	88
5.3.2.1 Styk dvou vodivých materiálů	88
5.3.2.2 Vložení izolátorů	89

5.3.2.3 Omezení doby styku	89
5.3.3 Krytí	90
5.3.4 Uzavření, hermetizace	91
LITERATURA.....	93
NORMY	94
PŘÍLOHY.....	95
REJSTŘÍK.....	98
OBSAH.....	100