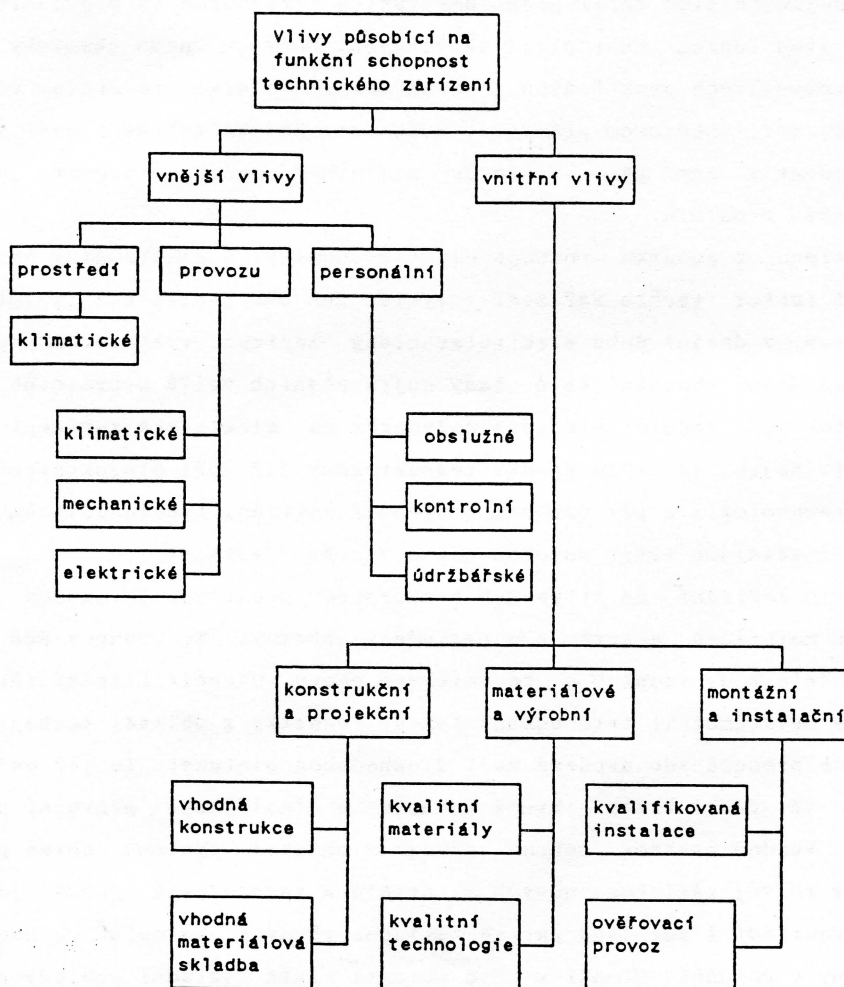


1. DEGRADAČNÍ PŮSOBNÍ PROVOZNÍHO PROSTŘEDÍ

Funkčnost každého technického zařízení ovlivňují dvě skupiny vlivů, které můžeme obecně rozdělit na vnitřní a vnější (obr. 1.).



Obr. 1.

Vlivy působící na funkční schopnost zařízení

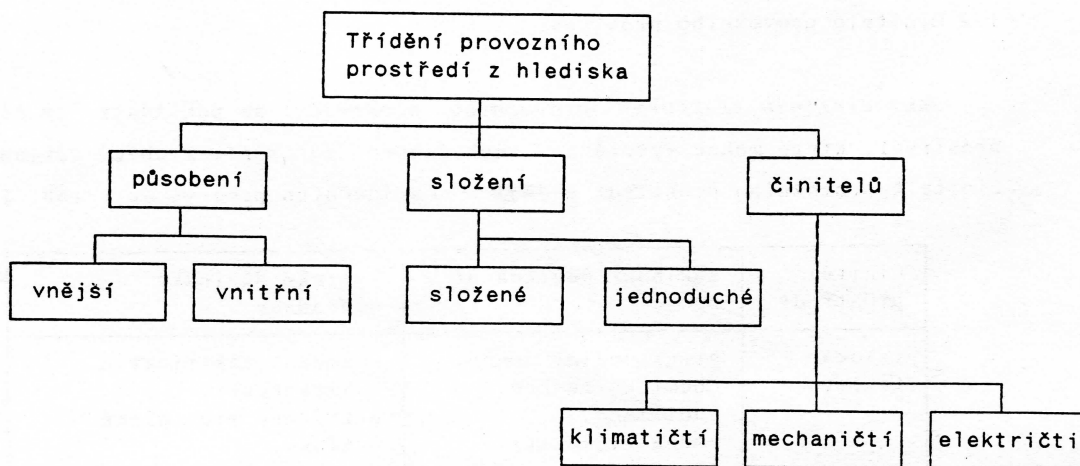
Mezi *vnitřní vlivy* zahrnujeme všechny faktory, které souvisí se vznikem výrobku. Je to např. projekce výrobku, jeho konstrukce, materiálová skladba a použitá technologie. Míra uplatnění těchto faktorů na odolnost výrobku proti provozním vlivům závisí na propracovanosti konstrukce, výrobních možnostech a zkušenostech, na respektování ergodických zásad atd. Volba vhodných materiálů nebo prvků, dodržování předepsaných technologických postupů a pečlivá mezioperační a výstupní kontrola je nezbytným předpokladem, pro zajištění dlouhodobé a bezporuchové funkce zařízení i v nejnáročnějších provozních podmínkách.

Vlivy působící na elektrotechnický výrobek v době jeho využívání pokládáme za *vnější*. Jsou to např. vlivy působící při skladování, dopravě a instalaci výrobku. Nedodržování montážních a instalačních předpisů, neplnění směrnic pro zkušební provoz se může výrazně projevit při vlastním provozu zařízení. Příznivý či nepříznivý účinek těchto vlivů na jakost technického zařízení závisí podstatně na kvalifikovanosti personálu pro obsluhu a údržbu, na dodržování termínů a zásad pro seřizování a kontrolu a činnost zařízení, na předcházení poruchovosti preventivními opatřeními a konečně na míře odbornosti prováděných oprav.

Do souboru vnějších vlivů patří i velká skupina činitelů, které souhrnně nazýváme *provozním prostředím*. Provozní prostředí zahrnuje všechny vlivy působící na výrobek během jeho provozu a to jak činitelé podnební tak i činitelé mající svůj původ ve vlastní činnosti zařízení. Provozní prostředí působí na elektrická zařízení po celou dobu jeho technického života, tzn. od uvedení do provozu až po morální či fyzickou likvidaci. Důsledkem působení provozního prostředí na každé technické zařízení je *znehodnocení* (degradace) zařízení.

1.1 Třídění provozního prostředí

Provozní prostředí je možné třídit z různých pohledů (obr.2.). V prvním přiblížení lze na něj pohlížet jako na systém sestávající ze dvou pod-systémů: vnějšího prostředí a vnitřního prostředí.



Obr. 2.
Třídění provozního prostředí

Vnější prostředí zjednodušeně pojato je nezávislé na zařízení a lze jej popsat, nebo přesně definovat určitými charakteristikami jako je teplota, vlhkost, množství prachu apod. Jako příklad lze uvést venkovní klimatické (atmosférické) podmínky, nebo podmínky uvnitř rozsáhlých pracovních prostorů někdy nazývané technoklimatem.

Vnější prostředí se podílí na vzniku *vnitřního prostředí*. Vnitřním prostředím rozumíme prostředí v nejbližším okolí zařízení. Prostor uvnitř zařízení se občas nazývá mikroklimatem. Vnitřní prostředí je značně specifické, neboť se utváří v závislosti na konstrukčním a technologickém uspořádání zařízení. Je výsledkem dynamické rovnováhy mezi klimatickými a provozními podmínkami zařízení. Na rozdíl od vnějšího prostředí, které existuje nezávisle na zařízení je vnitřní prostředí vázáno na existenci zařízení a není s vnějším prostředím nikdy identické.

V provozním prostředí se vyskytuje celá řada klimatických a provozních činitelů. Prostor, který se skládá jen z malého počtu přesně definovaných činitelů, se nazývá *jednoduché prostředí*. Za jednoduché prostředí lze považovat např. klimatizovaný prostor, kde je elektrické zařízení chráněno před vlivy vnějšího prostředí a pracuje v atmosféře s definovanou teplotou a vlhkostí vzduchu.

Běžnějším případem provozního prostředí je *složené prostředí*. Příkladem takového prostředí je volné prostranství. Na zařízení umístěném na volném prostranství mohou působit všichni činitelé vnějšího prostředí.

1.2 Činitelé provozního prostředí

Za *činitele (faktory) provozního prostředí* se pokládají ty složky prostředí, které mohou vyvolávat znehodnocení zařízení. Přehled základních činitelů provozního prostředí a jejich degradačních projevů je v tab. 1.

Činitel prostředí	Základní degradační projev	Typické důsledky degradace
vysoká teplota	strukturální změny, chemické reakce, sublimace, změna viskozity, odpařování, dilatace	- změna elektrických vlastností, - zvýšené mechanické tlaky, - ztráta lubrikačních vlastností

nízká teplota	křehnutí, ztráta mechanické pevnosti, smršťování, změna viskozity	- ztráta lubrikačních vlastností, - ztráta mechanické pevnosti, - zhoršení mazacích vlastností
změna teploty	mechanické pnutí, diferenční zahřívání	- ztráta mechanických vlastností, - vznik netěsností
vysoká relativní vlhkost	sorpční děje, bobtnání, chemické reakce	- změna dielektrických vlastností, - ztráta mechanické pevnosti
nízká relativní vlhkost	vysoušení křehnutí smršťování, zvýšená abraze	- ztráta mechanické pevnosti, - změna elektrických vlastností
změna vlhkosti	chemické reakce, adsorpce vodní páry	- změna elektrických povrchových vlastností, - změna rozměrů
vysoký tlak	imploze	- strukturální změny, - snížení těsnosti
nízký tlak	exploze zhoršené chlazení přehřívání	- poškození těsnosti, - snížení dielektrické pevnosti vzduchu
sluneční záření	chemické a fyzikálně chemické reakce, křehnutí, zahřívání	- změna mechanických vlastností, - změna elektrických vlastností, - odbarvení materiálů
plynné exhalace	chemické reakce, koroze, elektrolýza	- poškození povrchu - zeslabení struktury - ztráta mechanických a elektrických vlastností
prach, písek	abraze, tepelná izolace	- zvýšený otěr, - přehřívání
děšť	adsorpce, tepelný ráz, eroze, koroze	- změna elektrických vlastností, - zhoršení těsnosti
kroupy	eroze tepelný ráz mechanická deformace	- porušení povrchové struktury
sníh, led	adsorpce, tepelný ráz mechanické deformace	- změna elektrických charakteristik, - ztráta mechanických vlastností

mikro- organizmy	koroze akumulování vlhkosti	- změny elektrických - povrchových vlastností, - rozklad materiálu, - zkrat
zrychlení	mechanické napětí	- strukturální změny, - ztráta mechanické - pevnosti
chvění, vibrace akustický hluk	mechanické napětí, únav	- ztráta mechanické - pevnosti, - strukturální změny, - zvýšený otěr
elektrické napětí	elektrické stárnutí	- průraz izolace
elektrický proud	ohřev	- zvýšené mechanické tlaky, - změna elektrických vlastností

Tab. 1.

Základní činitelé provozního prostředí a jejich degradační projevy.

Všechny činitelé provozního prostředí lze, až na výjimky, zařadit do jedné ze tří následujících skupin:

činitelé klimatického původu

činitelé klimatického původu lze rozdělit do dvou tříd a to do třídy *základních klimatických činitelů*, kam patří:

- teplota vzduchu
- vlhkost vzduchu
- tlak vzduchu.

Tito činitelé mají rozhodující postavení při utváření vnitřního prostředí a jsou i základními činiteli prostředí vnějšího. Do třídy *doplňkových klimatických činitelů* zařazujeme:

- plynné znečištění ovzduší (např. SO₂, NH₃, H₂S, NO_x a další)
- pevné nečistoty ovzduší (např. prach, popílek, saze, písek)
- sluneční záření
- atmosférické srážky (např. déšť, sníh, námraza)
- mikroorganizmy (např. plísně a bakterie)

- makroorganizmy (např. termity, myši, hadi atp.)
- vítr, bouře, cyklony.

S některými doplňkovými činiteli se můžeme setkat jen jako s činiteli vnějšího prostředí, např. s deštěm, slunečním zářením. Jiné mohou být součástí jak vnějšího tak vnitřního prostředí. Vnější prostředí je např. zdrojem plísňových spór, ve vnitřním prostředí se vytváří plísňový porost. V některých případech mohou být doplňkové činitele jen produktem vnitřního prostředí. Např. při zvýšení teploty pod krytem elektrického zařízení se mohou uvolňovat z organických látek zbytky rozpouštědel nebo jiných těkavých látek.

Činitele mechanického původu

Na rozdíl od klimatických činitelů je třídění mechanických činitelů velmi obtížné, neboť elektrická zařízení mohou být vystavena mechanickému namáhání různým způsobem. K mechanickému namáhání elektrického zařízení dochází ještě dříve než je zařízení uvedeno do provozu. Obvykle jde o namáhání vzniklá v souvislosti s balením a dopravou. Jiné je např. namáhání při dopravě vlakem, jiné při dopravě lodí, letadlem atp.

Zařízení může být namáháno mechanicky, aniž by bylo v provozu. Příčinou mohou být cizí zdroje mechanického namáhání. Zatímco při balení, expedici a dopravě se uplatňuje zejména:

- chvění
- zrychlení
- pády, nárazy, překlápění,

při instalaci a provozu zařízení převládá většinou:

- chvění
- vibrace
- akustický hluk.

Mechanická namáhání vyvolaná vlastním provozem jsou *prvotní* namáhání. Výjimečně mohou vznikat mechanická namáhání např. při seismických pohybech země nebo vlivem větru na volném prostranství. Tato mechanická namáhání označujeme jako *druhotná*. Např. dynamické síly při spouštění elektrického stroje namáhají značně komplikovaným způsobem vinutí. Prvotní mechanické

namáhání může být často ovlivňované druhotným mechanickým namáháním. Např. chvění základů může interferovat s chvěním stroje za provozu a namáhání může dosáhnout kritických hodnot.

Vlivem působení klimatických činitelů provozního prostředí dochází ke znehodnocování jednotlivých komponentů elektrického zařízení. Odolnost takového zařízení je pak při působení mechanického namáhání značně snižena.

Činitelé elektrického původu

Elektrické zařízení je během svého provozu namáháno *jmenovitým elektrickým namáháním*, do čehož zahrnujeme:

- elektrické napětí
- elektrický proud
- elektrické a magnetické pole.

Elektrické napětí může být samo o sobě příčinou znehodnocení zařízení (vlivem elektrického stárnutí). Tento druh namáhání je možné přirovnat k prvotnímu mechanickému namáhání. Výsledkem elektrického namáhání jsou některé důsledky, které se svými znaky blíží namáhání teplotou, popřípadě namáhání některými plynými škodlivinami.

Elektrický proud nebo elektrické pole vyvolává znehodnocení obvykle druhotného charakteru, který se neliší od důsledků namáhání vysokou teplotou. Zesiluje však účinek některých klimatických činitelů, např. tím že ovlivňuje sedimentaci pevných částic. Magnetické pole, hlavně jeho změny, jsou zdrojem mechanického namáhání.

Velmi často bývá elektrické namáhání nižší než jmenovité. Nižší namáhání ale nemusí mít vždy příznivý účinek v tom smyslu, že je degradační proces zpomalen. Snižená zátěž, popřípadě chod naprázdno, může např. u motorů v prostředí se zvýšenou vlhkostí přivodit jejich rychlejší namáhání.

Nižší nebo vyšší elektrické namáhání než jmenovité je *mimořádné elektrické namáhání*. Jedná se o:

- předpětí, podpětí
- zkrat, elektrický výboj
- zavlčené napětí, bludné proudy.

Mimořádná elektrická namáhání mají analogii v druhotném mechanickém namáhání.

Elektrické namáhání vytváří velmi často s některými klimatickými činiteli namáhání specifického typu. Pro tuto různorodost nelze elektrické namáhání, stejně jako mechanické, jednoznačně klasifikovat.

1.3 Klasifikace činitelů provozního prostředí

Dopad činitelů provozního prostředí na zařízení je jednak přímý a jednak nepřímý. *Přímí činitelé provozního prostředí* se podílejí bezprostředně na znehodnocování zařízení. Je to např. teplota vzduchu, obsah vodní páry ve vzduchu atp. *Nepřímí činitelé provozního prostředí* jsou činitelé, jejichž degradační účinek je závislý na intenzitě nebo výskytu určitého přímého činitele. Příkladem nepřímého činitele je např. mikrobiální infekčnost ovzduší nebo korozní agresivita.

Z celé řady činitelů provozního prostředí jen malý počet vyvolává podstatné znehodnocování zařízení. Většinou se jedná o jeden, výjimečně více než dva činitele. Takovéto činitele nazýváme *rozhodující degradační činitele* provozního prostředí. Elektrické zařízení se skládá z řady různorodých materiálů. Každá skupina materiálu nebo funkčních prvků zařízení může mít jinou sestavu rozhodujících degradačních činitelů.

Ke znehodnocování zařízení vlivem působení degradačního činitele dochází jen tehdy, dosáhne-li činitel určité velikosti, kterou nazýváme *kritickou velikostí degradačního činitele*. Znehodnocení, které v takovémto případě nastává, se nazývá *podstatné znehodnocení*.

Podstatné znehodnocení vyvolané rozhodujícími degradačními činiteli má určitou specifikou. Takovéto znehodnocení se nevyskytuje u všech ale jen u určitých skupin materiálů a jedná se o technicky významné znehodnocení, které způsobují *dominantní degradační činitele*.

Každý činitel provozního prostředí je možno popsat dobou působení a intenzitou (např. teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu) nebo jinou specifickou charakteristikou (velikostí prachových částic, druhem mikroorga-

nizmu). Z hlediska degradace to dovoluje třídit činitele provozního prostředí podle kritické:

- extrémní (velké nebo malé) intenzity
- změny intenzity
- četnosti výskytu
- doby trvání.

Kritická extrémní intenzita a kritická změna intenzity probíhají v krátkém čase a proto se vyskytují jen v nahodilých případech. Jako příklad lze uvést vzrůst relativní vlhkosti vzduchu po dešti, orosení při prudké změně teploty. Naproti tomu *kritická četnost a kritické trvání* představuje přetržitou v prvním případě, či nepřetržitou v druhém případě intenzitu provozního činitele, která však nedosahuje extrémních hodnot. Příkladem kritické četnosti je počet dní s výskytem orosení a kritické trvání lze dokumentovat např. počtem hodin s relativní vlhkostí vzduchu $> 85 \%$.

Velikost intenzity činitelů v provozním prostředí se trvale mění. V této souvislosti hovoříme o *variabilitě činitele provozního prostředí*. Za malou variabilitu lze považovat takovou změnu intenzity, kdy se velikost intenzity sice mění ale nikdy neklesne pod kritickou hodnotu. Za velkou variabilitu se pak pokládají změny velikosti intenzity z oblasti nadkritické do podkritické a naopak. V souvislosti s malou variabilitou hovoříme o *kolísavém působení* činitele a v případě velké variability o *přerušované působení* činitele provozního prostředí.

Vzhledem k tomu, že degradace není obvykle přímo úměrná intenzitě působícího činitele, je při kolísavém působení průběh degradace jiný než při působení téhož činitele o stálé intenzitě. Při kolísavém působení se může uplatnit vliv hysterezních procesů na průběh degradace. Tak např. kolísavé působení velké vlhkosti vzduchu se u izolantů může projevit jak navlháním tak vysoušením, což bude mít za následek jiný průběh dielektrických charakteristik, než při trvalém působení vysoké vlhkosti vzduchu na izolant.

Přerušované působení činitele provozního prostředí se projeví pomalejším průběhem znehodnocení než při působení činitele o nepřerušované kritické intenzitě. To však platí jen tehdy, kdy v době přerušení dojde k "zotavení" znehodnocovaného materiálu. Jestliže je ale mechanismus znehodnocování materiálu nezávislý na době působení degradačního činitele, uvedená skutečnost neplatí. Tak např. fotochemická degradace plastických hmot nezávisí

na tom, zda materiál obdrží potřebnou dávku záření v méně nebo více přetržitých intervalech, ale na množství obdržené energie.

Činitelé provozního prostředí, zejména při atmosférické expozici, působí v různých časových sledech. V jednom časovém úseku má některý z činitelů kritickou velikost a jeho degradační působení je proto podstatné, zatímco ostatní činitelé mají v témže časovém úseku velikost podkritickou a jejich degradační působení je nevýznamné. Střídavé působení degradačních činitelů může mít na znehodnocování vliv *stimulační* nebo *inhibiční*. Tak např. PVC je znehodnocováno více působí-li napřed sluneční záření a poté vlhká atmosféra. Je to dáno tím, že vlivem slunečního záření se naruší povrchová struktura, takže při následném působení vlhkosti může proniknout vodní pára do hlubších vrstev.

Variabilita působení činitelů provozního prostředí nevyklučuje, že může docházet k současnému působení rozhodujících degradačních činitelů. Výsledek jejich vzájemného působení závisí na fyzikální, chemické nebo biologické povaze působících činitelů. Při současném působení činitelů se jejich vzájemné účinky buď neovlivňují, to však bývá málo časté, nebo se zeslabují. Nejčastější případ je, že se účinky současného působení zesilují. Tak tomu je např. při současném působení vysoké teploty a relativní vlhkosti vzduchu, nebo vysoké relativní vlhkosti vzduchu a znečištění vzduchu exhalacemi.

1.4 Klasifikace dějů znehodnocování

Výsledek působení provozního prostředí na technické zařízení jsme definovali jako znehodnocení (degradaci) zařízení. Ve své podstatě je znehodnocování souhrn změn vlastností materiálu ke kterému dochází na základě fyzikálních a fyzikálně-chemických dějů v materiálu vlivem působení degradačních činitelů. Míra znehodnocení je dána průběhem a charakterem těchto dějů a je určována mechanismem degradačního procesu (děje). Rychlost průběhu degradačního procesu se nazývá *kinetika degradace*. Mechanismus degradačního procesu s ohledem na podstatu a průběh dělíme na:

stárnutí - proces chemických změn vnitřní struktury materiálu projevující se postupnou změnou vnitřních nebo vnějších parametru

únavu - proces fyzikálních změn vnitřní struktury projevující se postupnou změnou vnitřních parametrů

opotřebení - proces fyzikálních a chemických změn povrchové struktury projevující se postupnou změnou vnějších parametrů

Degradační děje vyvolané činiteli provozního prostředí se vzájemně liší podle doby trvání. Většina degradačních procesů trvá tak dlouho, než systém dospěje do rovnovážného stavu, tj. do stavu kdy znehodnocování již neprobíhá. Vzhledem k variabilitě působení degradačních činitelů může docházet i k přechodným degradačním procesům. Také v tomto případě se po čase ustálí dynamický rovnovážný stav. Tak např. k znehodnocení povrchových vlastností dielektrika ve vlhké atmosféře nastane během několika sekund. Naproti tomu navlhnutí nepórezního izolantu může trvat i několik roků, dojde k němu však i v případě, že relativní vlhkost bude v průběhu působení kolísat.

Degradační děje trvající nejvýše dny nazýváme *krátkodobé degradační děje*. Výsledkem krátkodobého degradačního děje je náhlé znehodnocení. Toto znehodnocení se projeví současně s výskytem degradačního namáhání. Degradační děje s delší časovou konstantou (měsíce a roky) se nazývají *dlouhodobé degradační děje*. Tento typ degradačního děje je typický pro postupné znehodnocení.

Každý materiál reaguje na degradační působení činitele provozního prostředí různým způsobem. Výsledkem může být:

trvalé (nevratné) znehodnocení, což je stav, kdy vlastnosti materiálu se nevrátí na původní úroveň, když přestane degradační namáhání působit (např. korozní znehodnocení).

přechodné znehodnocení, což je znehodnocení, které pomine, jakmile poklesne intenzita degradačního činitele pod kritickou velikost (např. znehodnocení povrchových vlastností dielektrika ve vlhké atmosféře).

vrátné znehodnocení, což je stav, kdy se vlastnosti materiálu vrátí do původního stavu zcela (nebo jen částečně, potom hovoříme o částečně vratném znehodnocení), přestane-li působit příslušné degradační namáhání (např. znehodnocení vnitřních vlastností izolantu ve vlhké atmosféře).

1.5 Klasifikace provozního namáhání

Pro potřeby vývoje a výroby elektrických zařízení a v podstatě i pro jeho exploataci je nutné provozní namáhání jednoznačným způsobem klasifikovat. Současně s tím, jak narůstaly poznatky o degračních procesech a jak nabýval význam této problematiky, vyvíjely se i názory na klasifikaci provozního namáhání. Současný přístup ke klasifikaci provozního namáhání vychází z jednotlivých degračních mechanismů. Základ klasifikačního systému tvoří teplota a vlhkost v jednotlivých oblastech zemského povrchu.

Současný platný klasifikační systém podmínek vnějšího prostředí vychází z mezinárodních dokumentů IEC 721_2_1 a je zpracován v ČSN 03 8900 část 2-1 [28]. Na základě tohoto standardu se dělí venkovní prostředí do klimatických oblastí uvedených v tab. 2.

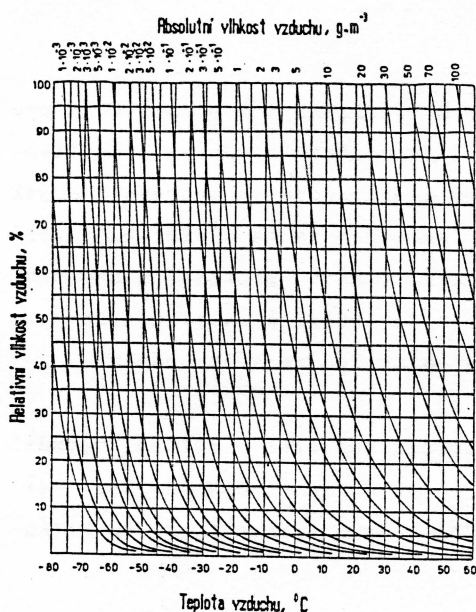
Klimatická oblast	Označení oblasti
velmi studená	EC
studená	C
chladná	CT
mírná	WT
teplá suchá	WT
horká suchá	MWDr
velmi horká suchá	EWDr
horká vlhká	WDa
horká vlhká vyrovnaná	WDaE

Tab. 2.
Základní klasifikace podmínek vnějšího prostředí

Každá klimatická oblast je charakterizována:

- extrémními hodnotami denních průměrů teploty a vlhkosti
- extrémními hodnotami měsíčních průměrů teploty a vlhkosti
- extrémními hodnotami ročních průměrů teploty a vlhkosti
- absolutními extrémními hodnotami teploty a vlhkosti vzduchu.

Pro každou klimatickou oblast je zároveň uveden příslušný stavový diagram vlhkého vzduchu (obr. 3.). Diagram vyjadřuje vztah mezi teplotou a vlhkostí vzduchu při normálním atmosférickém tlaku a lze z něj např. odvodit absolutní vlhkost vzduchu v dané oblasti při známé teplotě a relativní vlhkosti vzduchu, nebo rosný bod při poklesu teploty atp.



Obr. 3

Stavový diagram vlhkého vzduchu

Vedle základních klimatických oblastí zavádí tento klasifikační systém ještě sdružený typ klimatu (tab. 3.), který tvoří čtyři oblasti. Úzká oblast zahrnuje mírné pásmo, střední oblast se skládá z chladného, mírného, teplého suchého a horkého suchého pásma, široká oblast zahrnuje všechny typy klimatu kromě velmi studeného a velmi horkého suchého klimatu. Světová oblast obsahuje všechny klimatické oblasti.

Klasifikaci všech skupin činitelů provozního prostředí (ne jenom klimatických činitelů) a stanovení stupňů jejich přísnosti obsahuje ČSN IEC

721-3 0 až 7 [29]. Tento standard rozděluje provozní prostředí do sedmi tříd:

- skladování (1)
- přeprava (2)
- stacionární použití chráněné proti povětrnostním vlivům (3)
- stacionární použití nechráněné proti povětrnostním vlivům (4)
- pozemní vozidla (5)
- lodní prostředí (6)
- přenosné a nestacionární použití (7)

Pro každou třídu jsou definovány příslušné podmínky:

- klimatické (K)
- zvláštní klimatické (Z)
- biologické (B)
- mechanické (M)
- chemicky aktivní látky (C)
- mechanicky aktivní látky (S)

a každé podmínky mohou mít několik tříd přísnosti.

Sdružená klimatická oblast	Označení oblasti
úzká	R
střední	M
široká	G
světová	WW

Tab. 3. Sdružený typ klimatu

Klasifikace provozního prostředí pro dané místo odpovídající přísnosti dané třídy lze potom popsat např. označením:

1K2/1Z1/1B1/1C2/1S2/1M3

Do konce roku 1992 platil klasifikační systém, který rozděloval provozní prostředí podle makroklimatických oblastí, kategorie umístění výrobku a stupně korozní agresivity atmosféry. V praxi se s ním lze setkat ještě na štítku výrobku. Tak např. označení TH 13 znamenalo, že výrobek je určen pro vlhké tropické klima a pro umístění na volném prostranství v silně znečištěném průmyslovém prostředí.

Základní literatura k problematice znehodnocování technických výrobků [22], [30].