

5. ZNEHODNOCOVÁNÍ PRACHEM

Vedle plyných exhalátů je prach druhou složkou ovzduší, která působí degradačně na technická zařízení. K poškozování prachem a pískem dochází ve všech podnebních oblastech a provozních prostředích. Účinky prachu na technická zařízení jsou jednak *primární* (např. zhoršený odvod tepla ze zaprášeného povrchu) a jednak *sekundární* (např. rozpustný prach zvyšuje povrchovou vodivost). Degradační působení prachu je do značné míry dáno vlastnostmi prachu a podmínkami za kterých ke zvýšené prašnosti dochází.

5.1 Vznik prachu a prašnosti prostředí

V přírodě vzniká prach při drobení, rozmělnění a rozpadu organických a anorganických tuhých látek přírodními pochody fyzikální, chemické, biochemické, vulkanické nebo jiné povahy. Je to zejména eroze, zvětrávání, drobení, mráz a žár, vysychání, tlení a hnití, hoření, pyrogenetické rozpady a pod. Velkým zdrojem prachu je záměrná technická činnost (trhání, tříštění, drcení, mletí, řezání, vrtání, broušení, leštění, pražení, tavení, spalování tuhých látek a pod.). Podle vzniku rozeznáváme prach *přírodní* a *technický*. Zvláštním druhem prachu je interplanetární kosmický prach, který se v měřitelném množství dostává i na naši planetu.

5.1.1 Definice prachu

Jednoznačná definice prachu neexistuje. Význam slova prach je chápán jinak ve smyslu technickém a jinak v hygienickém. Obyčejně za prach pokládají částice rozmělněných tuhých látek, které jsou tak malé, že se dají unášet proudem vzdušiny a ve vzduchu jsou schopny se vznášet, i když příčina zviřením pominula.

Charakteristickou vlastností prachu je, že je schopný vytvářet se vzdušinami *dvousložkový disperzní systém*, v němž jedna složka (vzdušina) je disperzním prostředím a druhá (prach) je dispergovanou látkou, disperzoidem. Prach lze tedy definovat jako malé částice tuhých látek, které po rozptýlení v klidném disperzním systému (klidném vzduchu) mají podstatně menší pádovou rychlost, než odpovídá zákonům volného pádu tuhých těles.

Taková definice prachu je sice výstižná z hlediska vnějšího projevu prachových částic, neříká však nic o tom o kolik musí být pádová rychlost menší ve srovnání s pádovou rychlostí těles ve vzdušinách, aby mohly být částice označeny za prach.

Vzdušiny tvořící disperzní prostředí, které se pohybují většími rychlostmi, jako např. spaliny v topných tazích kotlů, vysokopecní plyn při vý-

robě a čištění a jiné průmyslové vzdušiny, mohou unášet částky tuhých látek velikosti třeba až 1000 μm . V pracovních prostředích, jakými jsou např. dílny bez nadměrného průvanu, se mohou vznášet ve vzduchu delší dobu částice prachu menší než 20 μm .

Ani spodní rozměrová hranice částeczek tuhých látek, které označujeme jako prach není určitá. Částička, jejichž velikost je menší než 1 μm , se nejen neřídí zákony volného pádu, avšak ani těmi zákony, které aspoň do určité míry platí pro pád větších prachových částic. Čím jsou částice prachu menší než 1 μm , tím více se uplatňuje Brownův pohyb, tj. v disperzním prostředí částice nesedimentují (neusazují se) a jsou zmitány z různých stran přicházejícími nárazy druhých stejně malých částic. Pohybují se obdobně jako molekuly plynů tak dlouho, dokud se neshluknou (nekoagulují).

Doba usazování různě velkých prachových částic závisí jednak na velikosti částic, na rychlosti pohybu vzdušniny a vlastnostech prostředí (relativní vlhkosti). Orientační doby usazování různě velkých prachových částic jsou v tab. 27. [22].

Velikost částice (μm)	Doba usazování
100	180 s
10	360 s
1	9 h
0,1	900 h
0,05	neusadí se ani po 75 dnech

Tab. 27. Doby usazování různě velkých prachových částic

Důležitou charakteristikou prachu, vedle velikosti, je jeho množství v ovzduší. Množství prachových částic v ovzduší závisí na rychlosti pohybu vzdušniny a zdroji prachu. Mění se s nadmořskou výškou i oblastí. Představu o množství částic prachu ve vzduchu je možné si učinit z tab. 28. [22].

Prostředí	Počet částic v 1 cm^3 vzduchu
nad 5 000 m n.m.	$10^1 - 10^2$
do 2 000 m n.m. v horách	$10^1 - 10^3$
nad mořem	$10^2 - 10^4$
nad pevninou	$10^3 - 10^5$
nad městem	$10^4 - 10^6$

Tab. 28. Přibližné množství prachových částic ve vzduchu

Z hlediska degradačního působení budeme za prach pokládat částice hmoty o rozměrech od 1 do 150 μm , zatímco částice o rozměrech od 150 do 1000 μm budeme pokládat za písek.

5.1.2 Prašnost prostředí

Prach se dostává do ovzduší jednak kinetickou energií svých částic, kterou získaly při tříštění, lámání, drcení, mletí a pod., nebo zvířením a unášením přirozeným nebo vyvolaným pohybem vzdušniny.

Rozptýli-li se prach homogenně ve vzdušnině, vytvoří s ní disperzní systém, který jako celek má vlastnosti plynu (prachový mrak, oblak). Takový systém nazýváme *prašný aerosol* a hovoříme o *prašnosti* (prašném ovzduší, prašném vzduchu apod.). V přeneseném slova smyslu o prašných místech, prašném provozu, závodu, městě a krajině, oblasti.

Aerosoly mohou mít různou koncentraci prachu ve vzdušnině. Koncentraci prachu v prašném aerosolu vyjadřujeme buď gravimetricky (vážkově) hmotnostním podílem prachu v objemové jednotce vzdušniny ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), nebo konimetricky tj. počtem prachových částic v objemové jednotce (počet částic v m^3). Vztah mezi gravimetrickým a konimetrickým údajem není zcela jednoznačný. Závisí na měrné hmotnosti, velikosti a tvaru prachových částic. K přepočtu gravimetrických údajů na konimetrické může posloužit vzorec:

$$n = 238,7 \frac{N}{(d/2)^3 \rho_p} \quad (139)$$

kde n je konimetrický údaj prašnosti a N je gravimetrický údaj prašnosti. Zhruba lze počítat, že u minerálního prachu s rozměrem menším než 5 μm a měrnou hmotností $\rho = 2$ až $2,5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ připadá na jeden mg gravimetricky zjištěného množství prachu 25 až 30 částic. Jde-li o částice prachu organického původu s nižší měrnou hmotností je tento poměr zcela odlišný. Na jeden mg gravimetricky zjištěného množství může připadat až 90 i více částic v cm^3 .

Příčiny prašnosti jsou podle původu vzniku buď prvotní (místo vzniku prachových částic), nebo druhotné (místo odkud se prach dostává zvířováním při dopravě prášivých materiálů, proudem vzduchu z hromad těchto materiálů, vířením usazeného prachu a pod.). Úroveň prašnosti v různých prostředích může být proto velmi rozdílná. Orientační hodnoty prašnosti ve vybraných prostředích jsou v tab. 29. [13].

Prostředí	Prašnost (mg.m ³)
venkov bez průmyslu	0,002
městská ulice s bezprašnou vozovkou	1 - 3
papírna	25
slévárny železa	20 - 50
cementárny	100 - 400

Tab. 29. Prašnost ve vybraných prostředích

Stupeň prašnosti je dán velikostí zdroje prachu. Emise prachu ze zdroje se udává obvykle v kg.h⁻¹, t.h⁻¹ nebo t.d⁻¹. Když ztrácejí částice prachu v ovzduší svou kinetickou energii, postupně se usazují a jejich množství na jednotce plochy se nazývá *prašný spad*. Spad je frakcionovaný. Nejdříve se usazují částice nejhrubší a s největší měrnou hmotností. Nejdéle se v ovzduší udrží částice nejjemnější a s nejmenší měrnou hmotností. Toto rozčlenění prachové směsi se nazývá *rozptyl (rozsev)* prachu.

5.2 Vlastnosti prachu

Prach má různé vlastnosti, které jsou určovány způsobem vzniku, chemickým složením, měrnou hmotností, tvarem částic a jinými okolnostmi. Podle chemického složení rozeznáváme organický prach (rostlinný, živočišný, syntetický např. ze dřeva uhlí, vlny, umělých hmot) a anorganický prach (např. z vápna, cementu, křemene, kovů, rud). Z technického hlediska je důležité rozlišení prachu na *prach homogení*, to je takový, v němž všechny částice jsou stejného látkového složení (chemického, mineralogického). Dále *prach nehomogení*, heterogení, v němž se vyskytují částice různého látkového složení (např. částice rudy, vápence, koksu, různých oxidů atd.) a tedy i různé měrné váhy. S chemickým složením prachu souvisí, je-li rozpustný nebo nerozpustný, vodivý či nevodivý.

5.2.1 Chemické složení prachu

Přírodní prach v ovzduší obsahuje nejrozmanitější látky, které se v přírodě vyskytují. Složení *technického prachu* je dáno mechanismem vzniku prachových částic. Obvykle je složení technického prachu méně rozmanité než přírodního. Převládají v něm většinou částice vzniklé rozmělnováním při určitém druhu technické činnosti. O to víc je ale nutné znát jeho chemické složení, neboť původ (podstata) prachu může být jednou z příčin degradačního působení.

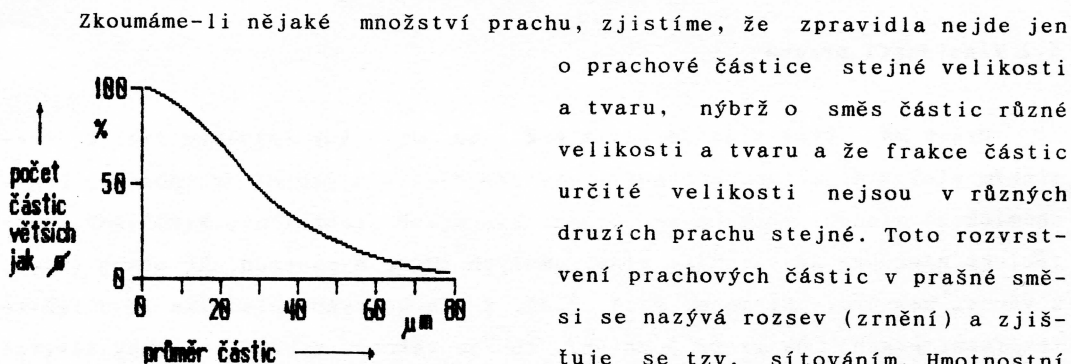
Prach z ovzduší v průmyslových oblastech obsahuje asi 50 až 70 % SiO₂, 10 až 30 % Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO. Složení je samozřejmě závislé na druhu

výroby, druhu paliva a způsobu spalování a jiných okolnostech. V průmyslovém prachu se mohou vyskytovat tuhé částice anorganického původu (sloučeniny křemíku) i částice mající organický základ (textilní vlákna), nebo dokonce složky přírodního prachu (zrníčka pylu).

5.2.2 Měrná a sypná hmotnost

Prach má různou měrnou hmotnost, závislou na druhu tuhé látky, z níž vznikl, a různou sypnou hmotnost. Ta závisí jak na původní látce, tak na způsobu vzniku a tvaru prachových částic. U prachu musíme rozlišovat skutečnou měrnou hmotnost a zdánlivou měrnou hmotnost, tj. objemovou hmotnost částic prachu včetně pórů.

5.2.3 Rozsev prachu



Obr. 60.
Stanovení rozsevu prachových částic

o prachové částice stejné velikosti a tvaru, nýbrž o směs částic různé velikosti a tvaru a že frakce částic určité velikosti nejsou v různých druzích prachu stejné. Toto rozvrstvení prachových částic v prašné směsi se nazývá rozsev (zrnění) a zjišťuje se tzv. síťováním. Hmotnostní podíly částic prachu různé velikosti se vynášejí do grafů nazývaných křivkami zrnění prachu (obr. 60.).

5.2.4 Měrný povrch prachových částic

Jednou z nejvýznamnějších vlastností prachu je velká rozvinutost povrchu částic v poměru k jeho vlastní hmotnosti. Tento poměr je tím větší, čím jsou částice prachu jemnější. U koloidálně disperzních a molekulárně disperzních prachů (dýmů, kouřů) dosahuje až několik řádů. Velká rozvinutost a členitost povrchu se projevují chemickou aktivností některých prachových částic, zejména z hlediska adsorpce plynů nebo urychlování reakcí (katalyzátory), výbušnosti, čiření, odbarvování kapalin a pod.

S tvarem prachových částic a povahou jejich povrchu (povrchovými silami) souvisí smáčitelnost prachu, která je u různých prachů značně rozdílná. Např. prach z křemene, živce a podobných minerálů o zdánlivé měrné hmotnos-

ti 2 až 3 g.cm³ se smáčí a pohlcuje kapalinou, i když jsou částice menší než 100 μm, kdežto prach z leštěnce olověného, o měrné hmotnosti více než 7 g.cm³ a prachy z jiných rud plavou na hladině při velikosti částic až 2000 μm.

5.3 Mechanismus působení prachu

U zařízení v prašném prostředí se vzdušninou v klidu dochází jednak k sedimentaci prachu na povrchu a jednak k pronikání prachových částic pod kryt zařízení. Je-li vzdušina v pohybu a mají-li částice větší hmotnost, nastává abrazivní působení prachu.

5.3.1 Sedimentace prachu

Nepatrná hmotnost prachových částic a odpor prostředí (vzduchu) jsou příčinou toho, že prachové částice v klidné vzdušině padají (usazují se) pod vlivem zemské tíže podstatně pomaleji, než by odpovídalo zákonům volného pádu. Toto usazování (*sedimentace*) probíhá tím pomaleji, čím jsou částice menší, čím je jejich měrná hmotnost menší a čím je odpor prostředí vlivem jeho vazkosti větší. Teoreticky i částice prachu padají zpočátku jistým pádovým zrychlením, avšak již po krátké době pádu je odpor prostředí v rovnováze se silou, kterou působí na hmotu částic, a proto dále již padají částice prachu jen rovnoměrnou rychlostí.

Zákony pádu prachových částic v klidném disperzním prostředí odvodili Stokes, Oseen a jiní. Pro rovnoměrnou pádovou rychlost různě velkých částic prachu platí tyto přibližné vzorce:

pro částice 1000 μm až 100 μm

$$v_1 = \sqrt{\frac{7,65 \, d \, \rho_{pc}}{\rho_{vz}}} \quad (140)$$

pro částice 100 μm až 10 μm

$$v_2 = \frac{1}{18} \frac{(\rho_{pc} - \rho_{vz}) \, g}{\eta} d^2 \quad (141)$$

pro částice 10 μm až 0,1 μm

$$v_3 = v_2 \left(1 - \frac{A \lambda}{d} \right) \quad (142)$$

kde

$$k = \left(1 - \frac{A \lambda}{d} \right) \quad (143)$$

je Cunninghamův opravný součinitel. Hodnota A je konstanta (pro vzduch $A = 1,68$) a λ je volná dráha molekuly. Cunninghamův opravný součinitel pro vzduch a různě velké částice frakcí od $0,05 \mu\text{m}$ do $7,5 \mu\text{m}$ má hodnoty uvedené v tab. 30. [13].

Velikost částice (μm)	0,05	0,1	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	7,5
Cunninghamův součinitel	3,934	2,467	1,147	1,098	1,073	1,029	1,029	1,015

Tab. 30. Cunninghamův opravný součinitel

Vzorce (140) až (142) platí pro částice kulového tvaru. Poněvadž částice prachu zpravidla nejsou kulové, dosazuje se do vzorců ekvivalentní průměr, tj. průměr takové fiktivní kulové částice, která by měla stejnou pádovou rychlost jako skutečná částice, jejíž tvar a velikost byly zjištěny síťováním, odvíváním, měřením pod mikroskopem, morfologickým rozbořem apod. Ekvivalentní průměr částic různých tvarů (kostek krychlí, osmistěnů, čtyřstěnů, jehlanů, hranolů, tyčinek apod.) se určuje pomocí součinitelů sféricity (např. podle empirických zjištění pro kouli je 1, pro pravidelný osmistěn 0,846, pro krychli 0,806, pro čtyřstěn 0,670 délky hrany).

Výpočtem ze vzorců (140) až (142) lze zjistit, jaký vliv má na pádovou rychlost rozměr částic. Pádové rychlosti částice prachu o zdánlivé měrné hmotnosti $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$ v klidném vzduchu o teplotě 20°C jsou v tab. 31.

Velikost částice (μm)	Pádová rychlost (cm.s^{-1})
100 μm	100
10	0,8
1	0,0095
0,1	0,00024

Tab. 31. Pádové rychlosti částic prachu různé velikosti

K proběhnutí dráhy 1 m při pádu v klidném vzduchu potřebují prachové částice přibližně dobu:

částice 10 μm	125 s
částice 1 μm	3 h
částice 0,1 μm	116 h

Z uvedených čísel je patrné, že velmi malé prachové částice v klidném prostředí sedimentují pomalu. V disperzních systémech, které nejsou zcela v klidu, je sedimentace ještě pomalejší.

5.3.2 Aerace v prašné atmosféře

Z analýzy prachových částic nalezených pod krytem zařízení vyplývá, že nejčastější velikost částic nacházejících se pod krytem jsou částice o velikosti kolem 20 μm . Mechanismus pronikání těchto prachových částic štěrbinou pod kryt zařízení může být dvojit.

Předpokládejme nejdříve, že teplota pod krytem T_1 a vně krytu v jeho těsné blízkosti je stejná. Potom s ohledem na stavovou rovnici plynu platí že:

$$p_1 T_2 = p_2 T_1 \quad (144)$$

Dojde-li náhle pod krytem ke změně teploty T_2 (např. vlivem provozu zařízení), poruší se rovnost v rovnici (144) a nastane na úkor vnějšího prostředí vyrovnávání tlaků. Prachové částice z vnějšího prostředí jsou nasávány štěrbinou pod kryt do té doby, než dojde k vyrovnání teplot nebo tlaků.

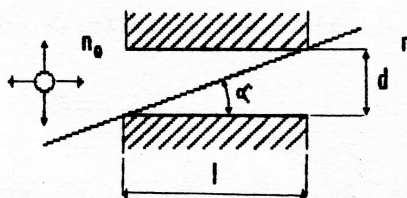
Druhý mechanismus je založen na poznatku, že prachový aerosol s částicemi prachu menšími jak 20 μm se chová jako plyn. Střední kvadratická rychlost prachové částice aerosolu ve všech směrech je:

$$v = \frac{\alpha}{2\pi} \quad (145)$$

kde

$$v = \sqrt{\frac{3 R T}{M}} \quad (146)$$

Jestliže se prachová částice octne před štěrbinou (obr. 61.) o délce l , po-



Obr. 61.
Mechanismus pronikání prachové částice štěrbinou

tom za 1 s projde štěrbinou na jednotku délky přímo:

$$N_p = n_o d v \frac{\alpha}{2\pi} \quad (147)$$

prachových částic, kde n_o je vnější prašnost.

Částice, které budou vnikat do štěrbin pod větším úhlem α se budou od stěny štěrbin odrazet. Dopadem částice na stěnu štěrbin se bude měnit její rychlost ($v' < v$). Nechť při dopadu pod úhlem $\varphi = \pi/2$ je podíl těchto rychlostí:

$$\frac{v'}{v} = r \quad (148)$$

Při dopadu částice na stěnu štěrbin pod libovolným úhlem (obr. 62.) se budou tečné složky rychlosti sobě rovnat:

$$v_t' = v_t = v \cos \varphi \quad (149)$$

a pro normálové složky rychlosti bude platit:

$$v_n' = v_n r = v \sin \varphi' r \quad (150)$$

Z obr. 62. zároveň vyplývá, že:

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{v_n'}{v_t'} = r \operatorname{tg} \varphi \quad (151)$$

a tedy:

$$\varphi' = r \varphi \quad (152)$$

Pro počet částic prošlých štěrbinou s jedním odrazem lze napsat vztah:

$$N_o = (n_o - N_p) d v' (\varphi' / 2\pi) \quad (153)$$

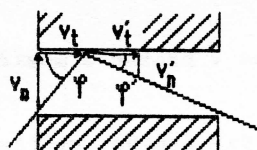
kde φ' je úhel při kterém ve vzdálenosti:

$$x = \frac{l}{1 + r} \quad (154)$$

dojde ke srážce částice se stěnou štěrbin. Celkový počet částic, které projdou za jednu sekundu jednotkovým průřezem štěrbin je:

$$n = N_p + N_o = N_p (1 + (1 - N_p/n_o)(r + r^2)) \quad (155)$$

Z výrazu (155) vyplývá, že množství prachových částic, které projde štěrbinou, je závislé na úhlu pod jakým vstupuje částice do štěrbin. Další



Obr. 62.
Vstup prachové částice do štěrbin pod libovolným úhlem

skutečnost, která ovlivňuje množství prošlých částic, je stav povrchu štěr-
biny. Ve skutečnosti nebude docházet jen k pružným odrazům. Část prachových
částic bude ulpávat na stěně štěrbin a tím se budou měnit i výchozí před-
poklady, na kterých byla tato teoretická úvaha postavena.

5.4 Degradální účinky prашné atmosféry

Účinky prachu na elektrotechnická zařízení záleží na druhu prachu,
mechanismu jeho působení a doprovodných jevech. V zásadě jsou trojího
druhu:

5.4.1 Brusné (abrazivní) účinky

Prachové částice mají nejrůznější tvar. Dostanou-li se tvrdé prachové
částice do pohyblivých částí mohou, působit jako brusný prostředek.
Jsou-li unášeny větrem, mohou poškozovat povrch nepohyblivých částí zaříze-
ní. Tak např. ve stepních oblastech může docházet k otěru ochranných nátěrů
na kovových konstrukcích a při změnách teplot, které jsou v těchto oblas-
tech běžné, může docházet ke korozním procesům na odhaleném kovovém po-
vrchu.

Jemný prach který pronikne do měřících přístrojů způsobuje, že příst-
roje ztrácejí svou citlivost vlivem zvětšeného tření. Prach může způsobovat
poškození hlaviček magnetických záznamových medií, zhoršovat spolehlivost
čtení optických medií.

5.4.2 Chemické účinky

Prach je do značné míry hygroskopický a proto udržuje na materiálech,
na nichž se usazuje, zvýšenou vlhkost. Prachové částice usazené na povrchu
mohou být příčinou rozvoje korozních procesů. A to ať již proto, že jsou
rozpuštěné.

Prach v oleji způsobuje jeho okysličování tím, že je schopen vázat na
svém aktivním povrchu kyslík. V mnoha případech prach přispívá k rozvoji
mikrobiálního napadení. Přímou tím, že může být potenciálním nosičem spór,
nebo že poskytuje mikroorganizmům potřebné živiny a nepřímo svou schopností
sorbovat vlhkost.

5.4.3 Sedimentační účinky

Prach usazený na povrchu izolantů a izolátorů přispívá k vytváření vo-
divých povrchů. Zejména tehdy, dochází-li ke střídání teplot, nebo jsou-li

některé složky sedimentované vrstvy prachu rozpustné. Usazený prach je pak příčinou svodů, přeskoků, výbojů a plazivých proudů. U zařízení vn dochází vlivem elektrického pole k shromažďování prachu mezi elektrodami a tím k ovlivnění rozložení gradientu elektrického pole.

Prach usazený na kontaktech relé a spinačů zvětšuje jejich přechodový odpor, což způsobuje ohřívání kontaktů a vznik oblouku. Prach na kontaktech může i porušovat jejich povrchovou ochranu a tím nepřímo vyvolávat korozi kontaktů.

Prach sedimentovaný na krytu zařízení ucpává ventilační kanály a zhoršuje odvod tepla. Prach usazený na povrchu svítidla dokáže pohltit až 60 % světla.

Základní literatura k problematice znehodnocování prachem [13], [22].