



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách u stacionárních zdrojů nespádajících pod BREF

Zpracování plastů a nakládání s chemickými látkami

Konečná verze



Obsah:

1	Předmluva.....	4
1.1	Zadání pro zpracování dokumentu	4
1.2	Způsob zpracování dokumentu.....	5
1.3	Struktura referenčního dokumentu	5
2	Oblast působnosti.....	6
2.1	Stacionární zdroje zahrnuté do referenčního dokumentu	6
2.2	Související procesy a činnosti.....	6
2.3	Stacionární zdroje nezahrnuté do referenčního dokumentu	6
3	Techniky používané v odvětví a jejich emisní úrovně	7
3.1	Úvod k chemickému průmyslu	7
3.2	Nakládání s anorganickými látkami, kde neprobíhá chemická reakce, jako např. výroba spotřební chemie mícháním komponent, síla, skladování sypaných materiálů	11
3.2.1	Úvod.....	11
3.2.2	Používané techniky - jednotkové operace	12
3.2.3	Emise do ovzduší.....	17
3.2.4	Úprava odpadních plynů	18
3.2.5	Dosahované emisní úrovně.....	19
3.3	Nakládání s organickými látkami, kde neprobíhá chemická reakce, jako např. výroba spotřební chemie mícháním komponent (barvy bez obsahu VOC), skladování sypaných materiálů	20
3.3.1	Úvod.....	20
3.3.2	Používané techniky – jednotkové operace	20
3.3.3	Používané techniky – procesní zařízení a infrastruktura	24
3.3.4	Používané techniky – odstraňování emisí	28
3.3.5	Dosahované emisní úrovně.....	33
3.4	6.5. Výroba a zpracování ostatních syntetických polymerů a výroba kompozitů, s výjimkou kompozitů vyjmenovaných jinde	34
3.4.1	Úvod.....	34
3.4.2	Používané techniky v plastikařském průmyslu.....	35
3.4.3	Techniky s použitím laseru	57
3.4.4	Ochrana ovzduší v plastikařském průmyslu	60
3.4.5	Dosahované emisní úrovně.....	60
4	Nejlepší dostupné techniky	62
4.1	Úvod k BAT ve zpracování plastů a nakládání s chemickými látkami	62
4.2	Primární (preventivní) BAT pro obecné použití	63
4.3	Primární specifické BAT	63
4.3.1	Primární specifické BAT pro procesy s vývinem prachu (TZL):.....	63
4.3.2	Primární specifické BAT pro procesy využívající organická rozpouštědla:	63
4.3.3	Primární specifické BAT pro pachové látky:	64
4.4	Sekundární (koncové) BAT	64
4.4.1	Odlučovače TZL	64
4.4.2	Zařízení na snížení VOC a/nebo pachových látek	64
4.5	Základní statistika využívaných technik k omezování emisí v sektoru	65
4.6	Nejlepší dostupné techniky pro podporu z OPŽP.....	66
4.6.1	Analýza čerpání podpor v 1. programovém období OPŽP v sektoru	66
4.7	Nejlepší dostupné techniky pro podporu z OPŽP a jejich dosažitelné emisní úrovně.....	66
4.7.1	Opatření na zdrojích energie	66
4.7.2	Primární opatření k omezení emisí prachu.....	66
4.7.3	Vybraná sekundární opatření k omezení emisí prachu	67



4.7.4	Vybraná sekundární opatření k omezení emisí VOC/pachových látek.....	67
4.8	Souhrnné tabulky sekundárních (koncových) BAT	68
4.8.1	Souhrnná tabulka BAT pro snižování emisí VOC.....	68
4.8.2	Souhrnná tabulka BAT pro snižování emisí TZL.	69
5	Koncové techniky k omezování emisí v chemickém průmyslu.....	70
5.1	Výběr technik snižování emisí odpadního plynu	70
5.2	Typické koncové techniky – omezování emisí TZL	71
5.2.1	Suché mechanické odlučovače	72
5.2.2	Mokrý mechanické odlučovače.....	73
5.2.3	Elektrostatické odlučovače	74
5.2.4	Látkové filtry	75
5.3	Typické koncové techniky – omezování emisí VOC	77
5.3.1	Volba postupu omezování emisí VOC	77
5.3.2	Zakoncentrace	78
5.3.3	Absorpce (absorbéry)	78
5.3.4	Adsorpce (adsorbéry)	79
5.3.5	Kondenzace	80
5.3.6	Termická oxidace	80
5.3.7	Katalytická oxidace	81
5.3.8	Biotechnologie – biofiltrace vzduchu	81
5.4	Příklad: Potřebné informace pro návrh tkaninového filtru a modelový odhad ceny	86
6	Seznam zkratk	89
7	Použité zdroje	90



1 PŘEDMLUVA

1.1 Zadání pro zpracování dokumentu

V oblasti ochrany ovzduší se desítky let kontinuálně provádí analytické a výzkumné práce. Většina z nich se zaměřuje na úroveň znečištění ovzduší, její příčiny a důsledky. Během posledních dekád ale nebyla provedena (až na výjimky) žádná souhrnná a plošná analýza technické úrovně stacionárních zdrojů, které jsou v České republice v provozu, ani obdobná analýza nových technik a technologií dostupných na trhu. Výjimku tvoří skupina spalovacích stacionárních zdrojů, kde se s ohledem na tvorbu evropského právního předpisu pro spalovací stacionární zdroje o jmenovitém tepelném příkonu do 50 MW a revizi Göteborgského protokolu, prováděla rovněž analýza technických a ekonomických aspektů regulace této skupiny stacionárních zdrojů.

Od roku 2007 se ekologizace stacionárních zdrojů staly předmětem masivní podpory z prostředků Evropské unie. Prostřednictvím Operačního programu Životní prostředí (dále také jen „OPŽP“) bylo podpořeno snížení vlivu stacionárních zdrojů na vnější ovzduší prostřednictvím necelých 2 tis. projektů. Do ekologizace stacionárních zdrojů bylo (resp. v řadě případů investice stále je) investováno cca 40 mld. Kč.

Je oprávněným zájmem Ministerstva životního prostředí, aby mělo k dispozici informace o tom, zda je podpora směřována na řešení technicky vyspělá a pokročilá. Ministerstvo životního prostředí zajímá, zda byly podporovány nejlepší dostupné techniky - ve volném významu tohoto spojení [nikoliv ve smyslu definice dle zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci), ve znění pozdějších předpisů, dále také jen „zákon o integrované prevenci“, neboť v řadě případů podporované stacionární zdroje nespadají pod integrovanou prevenci a nejlepší dostupné techniky ve smyslu právní úpravy pro ně nejsou stanoveny].

Podpora ekologizace stacionárních zdrojů má pokračovat i v dalším programovém období prostřednictvím OPŽP 2014+. Finančních prostředků je k dispozici výrazně méně, a proto musí být cíleny maximálně efektivně na velmi účinná technická opatření.

Z tohoto důvodu zadalo Ministerstvo životního prostředí v roce 2015 zpracování studie „Zpracování referenčních dokumentů o nejlepších dostupných technikách u stacionárních zdrojů nespadajících pod BREF“. Předmětem této studie bylo na základě důkladné analýzy trhu zpracovat referenční dokumenty o nejlepších dostupných technikách pro stacionární zdroje, které nejsou většinou pokryté zákonem integrované prevenci, a tím umožnit Ministerstvu životního prostředí u zdrojů znečišťování ovzduší celkové vyhodnocení aplikace nejlepších dostupných technik v rámci prioritní osy 2 a prioritní osy 3 OPŽP, a dále pak usnadnit žadatelům o finanční podporu z evropských fondů na oblast ochrany ovzduší orientaci ve volbě nejefektivnějších technik za účelem zvýšení environmentálních přínosů finančních prostředků poskytovaných z OPŽP 2014+.

Z předmětu studie vyplývají rovněž její hlavní dva účely

- a. **efektivnější čerpání finančních prostředků** díky úpravě hodnocení, případně kritérií přijatelnosti v OPŽP 2014+ a
- b. **lepší orientace žadatelů v dostupných technických řešeních** prostřednictvím uceleného dokumentu popisujícího příslušné odvětví (resp. skupinu stacionárních zdrojů dle přílohy č. 2 k zákonu č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, dále také jen „zákon o ochraně ovzduší“), jehož součástí je i popis a soupis zjištěných dostupných technik pro omezování znečišťování ovzduší.



Tento dokument neslouží k vymezení působnosti zákona o integrované prevenci a nemůže být takto použit. Popisované technologie mohou za určitých okolností spadat do režimu zákona o integrované prevenci jako zařízení provozující průmyslovou činnost uvedenou v příloze č. 1 tohoto zákona nebo jako přímo spojená činnost.

1.2 Způsob zpracování dokumentu

Proces zpracování standardních BREF dokumentů prováděný dle právní úpravy EU pro oblast integrované prevence je proces několikaletý, založený na rozsáhlých mnohostranných jednáních a výměně rozsáhlých dat o provozu obrovského vzorku zařízení.

Tento postup nebyl s ohledem na vymezený časový rámec řešení projektu (pouze několik měsíců) možný. Fyzická návštěva všech stacionárních zdrojů byla neproveditelná. I při nezapočtení stacionárních zdrojů nevyjmenovaných v příloze č. 2 zákona o ochraně ovzduší, kterých je v České republice statisíce a jejichž výčet není dostupný, existuje skupina stacionárních zdrojů vyjmenovaných v příloze č. 2 zákona o ochraně ovzduší, která zahrnuje cca 46 tis. stacionárních zdrojů. V této skupině zdrojů jsou sice rovněž stacionární zdroje, které nejsou předmětem řešení projektu (jsou uvedena v příloze č. 1 k zákonu o integrované prevenci), ale i tak přesahuje představa fyzické návštěvy každého stacionárního zdroje finanční i časový rámec projektu. Z tohoto důvodu se při řešení projektu vycházelo z informací již dostupných, tj. informací dostupných především u odborných útvarů státní správy, mimo jiné Ministerstva životního prostředí, krajských úřadů, Českého hydrometeorologického ústavu a Státního fondu životního prostředí ČR.

Za účelem získání aktuálních informací o vývoji a dostupnosti technik byli kontaktováni výrobci technik a technologií používaných u stacionárních zdrojů ke snižování emisí znečišťujících látek.

Klíčovým prvkem přípravy dokumentů a analýzy trhu byla i rozsáhlá rešeršní práce a analýzy projektů podpořených v rámci prioritní osy 2 a prioritní osy 3 OPŽP.

Významné okrajové parametry řešení, např. přesné vymezení řešených stacionárních zdrojů a členění na referenční dokumenty, byly závazně odsouhlasovány ze strany zadavatele studie, tj. Ministerstva životního prostředí.

1.3 Struktura referenčního dokumentu

První částí referenčního dokumentu je kapitola *Předmluva*. V rámci této kapitoly je stručně popsáno zadání tvorby a účel referenčních dokumentů, způsob jejich vypracování a jejich struktura.

Druhá kapitola *Oblast působnosti* přesně uvádí, na které stacionární zdroje v členění dle přílohy č. 2 k zákonu o ochraně ovzduší se dokument vztahuje a které související výrobní a další procesy dokument popisuje. Současně jsou zde uvedeny stacionární zdroje, které jsou z oblasti působnosti referenčního dokumentu vyloučeny.

Třetí kapitolu *Techniky používané v odvětví a jejich emisní úrovně* tvoří popis technik používaných v provozovaných stacionárních zdrojích a technik dostupných na trhu. Kapitola je tvořena primárně z informací dostupných státní správě, z dotazníkového šetření a z jednání se stakeholdery. Kapitola obsahuje rovněž okrajové podmínky stanovené v právní úpravě (specifické emisní limity, podmínky provozu).

Poslední kapitola *Nejlepší dostupné techniky pro podporu z OPŽP* tvoří souhrnný přehled nejlepších dostupných technik určených pro podporu v rámci prioritní osy 2 OPŽP 2014+.



2 OBLAST PŮSOBNOSTI

2.1 Stacionární zdroje zahrnuté do referenčního dokumentu

Chemický průmysl představuje podle zákona č. 201/2012 Sb. celkem 23 různých kategorií zdrojů z oblasti chemického průmyslu. Všechny uvedené zdroje představují chemické procesy, kde dochází k chemické reakci, a tedy jsou pokryty zákonem o integrované prevenci, a dostatečně popsány v příslušných BREF. Seznam všech BREF relevantních k chemickému průmyslu je uveden v poslední kapitole toho dokumentu (Informační zdroje).

Aby nedocházelo k překryvu s BREF, tento dokument se nezabývá hlavními chemickými procesy, ve kterých dochází k chemické reakci.

Tento dokument se zabývá souvisejícími procesy a činnostmi v chemickém průmyslu jako je skladování chemických surovin a výrobků, manipulace s nimi, úprava jejich fyzikálních vlastností, jejich míchání, směšování, přečišťování, apod. Tyto procesy mohou být provozovány podniky za účelem výroby finálního produktu, aniž by během výroby docházelo k chemickým reakcím (např. výroba domácích a kuchyňských čisticích prostředků).

Zvlášť je zpracována kategorie zdroje 6.5. Výroba a zpracování ostatních syntetických polymerů a výroba kompozitů, s výjimkou kompozitů vyjmenovaných jinde. Tato kapitola je zaměřena na zpracování plastů, při kterém nedochází k chemické reakci, pouze ke změně fyzikálních vlastností. Je zde zahrnut i popis nejmodernějších technologií jako řezání a svařování plastů laserem.

Vysoká pozornost byla věnována poslední kapitole, která se zabývá koncovými zařízeními obecně využívanými v chemickém průmyslu.

V popisu technik používaných v odvětví mohou být uvedeny informace o koncových technologiích, které jsou specifické pro daný typ výrob a nejsou obecně využívány.

2.2 Související procesy a činnosti

Tento dokument se zabývá zejména souvisejícími procesy a činnostmi, jako je skladování chemických surovin a výrobků a manipulace s nimi.

2.3 Stacionární zdroje nezahrnuté do referenčního dokumentu

Stacionární zdroje nezahrnuté do referenčního dokumentu jsou všechny procesy, při kterých dochází k chemické reakci.



3 TECHNIKY POUŽÍVANÉ V ODVĚTVĚ A JEJICH EMISNÍ ÚROVNĚ

3.1 Úvod k chemickému průmyslu

Chemický průmysl je velmi složitým sektorem průmyslu, v němž je vyráběno neuvěřitelné množství produktů nejrozličnějších vlastností. Ve světě se vyrábí kolem 70 000 chemických sloučenin, z nichž každá má své specifické chemické vlastnosti a je vyráběna jistým syntetickým postupem (postupy) a každá má odlišný způsob použití. V oboru organické chemie existuje podle některých odhadů více než 16 milionů organických sloučenin, a to i přesto, že počet prvků ve sloučeninách je relativně nízký.

Základní dělení chemického průmyslu, které je použito nadále v tomto dokumentu je na:

- chemii anorganickou
- chemii organickou

Existují však další účelová dělení chemického průmyslu, například:

- podle zákona o ovzduší
- podle zákona o integrované prevenci
- chemický průmysl jako obor podnikání

Chemický průmysl při členění jako obor podnikání zahrnuje zpracování ropy, farmaceutický průmysl a gumárenství. Oproti tomu, zákon o ovzduší zahrnuje do chemie z těchto oborů pouze zpracování ropy. Zákon o integrované prevenci naopak zahrnuje pouze farmaceutický průmysl, rafinerie zařazuje do energetiky, a gumárenství nezahrnuje vůbec.

(Pozn.: Pokud v rámci farmaceutické činnosti probíhá některý z chemických procesů vyjmenovaných v zákoně o ovzduší, pak bude zařazena jako příslušný zdroj znečištění ovzduší).

Výše uvedená dělení jsou využita pouze pro účely úvodu k chemickému průmyslu, přičemž v tomto úvodu jsou uvedeny i počty zdrojů znečištění ovzduší / IPPC zařízení / podniků. Slouží pouze pro přehled, uvedená čísla nejsou nijak srovnatelná.

V níže uvedených tabulkách byl proveden pokus o rozdělení chemického průmyslu ve smyslu zdrojů znečištění ovzduší / IPPC zařízení na anorganickou a organickou chemii, ale toto dělení není dokonalé, protože v některých kategoriích zdrojů / činnostech IPPC se anorganická a organická chemie prolíná.

Pokus o toto rozdělení byl učiněn pouze pro to, že tento dokument dále v kapitolách 3.2 a 3.3 dělí chemický průmysl na chemii na anorganickou a organickou.

**DĚLENÍ CHEMICKÉHO PRŮMYSLU PODLE ZÁKONA O OVZDUŠÍ**
a počty zdrojů znečištění ovzduší dle REZZO

Kód zdroje	Název stacionárního zdroje	Počet zdrojů dle REZZO
Výroba a zpracování organických látek a výrobků s jejich obsahem		
6.1.	Výroba 1,2-dichlorethanu a vinylchloridu	1
6.2.	Výroba epichlorhydrinu (1-chlor-2,3-epoxypropanu) a allylchloridu (1-chlor-2-propenu)	0
6.3.	Výroba polymerů na bázi polyakrylonitrilu	0
6.4.	Výroba polyvinylchloridu	1
6.5.	Výroba a zpracování ostatních syntetických polymerů a výroba kompozitů, s výjimkou kompozitů vyjmenovaných jinde	827
6.6.	Výroba a zpracování viskózy	1
6.7.	Výroba gumárenských pomocných přípravků	10
6.8.	Zpracování dehtu	4
6.9.	Výroba expandovaného polystyrenu	27
6.10.	Výroba acetylenu mokrou metodou	7
<i>Výroba a zpracování organických látek a výrobků s jejich obsahem - celkem</i>		878
Výroba anorganických látek		
6.11.	Výroba chloru	2
6.12.	Výroba kyseliny chlorovodíkové	1
6.13.	Výroba síry (Clausův proces)	4
6.14.	Výroba kapalného oxidu siřičitého	0
6.15.	Výroba kyseliny sírové	3
6.16.	Výroba amoniaku	2
6.17.	Výroba kyseliny dusičné a jejích solí	8
6.18.	Výroba hnojiv	7
6.19.	Výroba základních prostředků na ochranu rostlin a biocidů	5
6.20.a	Výroba výbušnin s projektovanou roční produkcí menší 10 t včetně	1
6.20.b	Výroba výbušnin s projektovanou roční produkcí větší než 10 t	10
6.21.	Sulfátový proces při výrobě oxidu titaničitého	9
6.22.	Chloridový proces při výrobě oxidu titaničitého	0
6.23.	Výroba ostatních pigmentů	10
<i>Výroba anorganických látek - celkem</i>		62
Ropná rafinerie, výroba, zpracování a skladování petrochemických výrobků a jiných kapalných organických látek		
6.24.	Ropná rafinerie, výroba a zpracování petrochemických výrobků	44
6.25.	Skladování petrochemických výrobků a jiných kapalných organických látek o objemu nad 1000 m ³ nebo skladovací nádrže s ročním objemem výtoče nad 10 000 m ³ a manipulace (není určeno pro automobilové benziny)	97
<i>Ropná rafinerie, výroba, zpracování a skladování petrochemických výrobků a jiných kapalných organických látek - celkem</i>		141
Chemický průmysl - celkem		1081

**DĚLENÍ CHEMICKÉHO PRŮMYSLU PODLE ZÁKONA O INTEGROVANÉ PREVENCI**

Kód IPPC	Kategorie činností	Počet zařízení
4.1.a	Výroba organických chemických látek, jako jsou jednoduché uhlovodíky lineární nebo cyklické, nasycené nebo nenasycené, alifatické nebo aromatické	20
4.1.b	Výroba organických chemických látek, jako jsou kyslíkaté deriváty uhlovodíků jako alkoholy, aldehydy, ketony, karboxylové kyseliny, estery a směsi esterů, acetáty, ethery, peroxidy a epoxidové pryskyřice	61
4.1.c	Výroba organických chemických látek, jako jsou organické sloučeniny síry	2
4.1.d	Výroba organických chemických látek, jako jsou organické sloučeniny dusíku, jako aminy, amidy, nitroderiváty, nitrily, kyanatany, isokyanatany	12
4.1.e	Výroba organických chemických látek, jako jsou - organické sloučeniny fosforu	1
4.1.f	Výroba organických chemických látek, jako jsou halogenderiváty uhlovodíků	5
4.1.g	Výroba organických chemických látek, jako jsou organokovové sloučeniny	0
4.1.h	Výroba organických chemických látek, jako jsou polymery určené jako suroviny k dalšímu zpracování, syntetická vlákna a vlákna na bázi celulózy	77
4.1.i	Výroba organických chemických látek, jako jsou syntetické kaučuky	2
4.1.j	Výroba organických chemických látek, jako jsou barviva a pigmenty	4
4.1.k	Výroba organických chemických látek, jako jsou povrchově aktivní látky	5
VÝROBA ORGANICKÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK CELKEM		189
4.2.a	Chemická zařízení na výrobu základních anorganických chemických látek, jako jsou plyny, jako čpavek, chlor nebo chlorovodík, fluor nebo fluorovodík, oxidy uhlíku, sloučeniny síry, oxidy dusíku, vodík, oxid siřičitý, karbonylchlorid	6
4.2.b	Chemická zařízení na výrobu základních anorganických chemických látek, jako jsou kyseliny, jako kyselina chromová, kyselina fluorovodíková, kyselina fosforečná, kyselina dusičná, kyselina chlorovodíková, kyselina sírová, oleum, kyselina siřičitá	9
4.2.c	Chemická zařízení na výrobu základních anorganických chemických látek, jako jsou zásady, jako hydroxid amonný, hydroxid draselný, hydroxid sodný	1
4.2.d	Chemická zařízení na výrobu základních anorganických chemických látek, jako jsou soli, jako chlorid amonný, chlorečnan draselný, uhličitán draselný, uhličitán sodný, perboritan, dusičnan stříbrný	16
4.2.e	Chemická zařízení na výrobu základních anorganických chemických látek, jako jsou nekovy, oxidy kovů či jiné anorganické sloučeniny, jako karbid vápníku, křemík, karbid křemíku	9
VÝROBA ANORGANICKÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK CELKEM		41
4.3	Chemická zařízení na výrobu hnojiv na bázi fosforu, dusíku a draslíku (jednoduchých nebo směsných)	6
4.4	Chemická zařízení na výrobu základních prostředků na ochranu rostlin a biocidů.	3
4.5	Zařízení využívající chemické nebo biologické procesy k výrobě základních farmaceutických produktů	19
4.6	Chemická zařízení na výrobu výbušnin	6
CHEMICKÝ PRŮMYSL CELKEM		264

Zdroj informací: www.ippc.cz



CHEMICKÝ PRŮMYSL JAKO OBOR PODNIKÁNÍ

Chemický sektor v České republice lze rozdělit do několika oblastí: základní chemie, zpracování ropy (petrochemie), farmaceutický průmysl (výroba léků), gumárenský průmysl a průmysl plastů a výroba papíru. Z nich rozhodující jsou výroba základních chemických látek (64 % z celkových tržeb) a výroba léčiv (17 %). Podíly dalších pěti oborů jsou nižší: výroba chemických specialit a vláken (9 %), výroba čisticích a kosmetických prostředků (5 %), výroba nátěrových hmot (4 %), výroba pesticidů a agrochemikálií (1 %).

Počet a velikost podniků chemického průmyslu v ČR v r. 2014

Ukazatel	Agregace			Chemický průmysl celkem
	Zpracování ropy	Chemie a farmacie	Gumárenský a plastik. průmysl	
Počet podniků:				
s 50 a více zaměstnanci	3	151	323	477
s 20 a více zaměstnanci	3	232	612	847
Podíl zaměstnanců na celk. počtu zaměstnanců celkem v % v podnicích s 20 a více zaměstnanci	100	95	91	92
Podíl tržeb na tržbách celkem v % v podnicích se 20 a více zaměstnanci	100	91	92	95

Celkový počet zaměstnanců a průměrný počet zaměstnanců

Sektor	Celkový počet zaměstnanců	Průměrný počet zaměstnanců
Zpracování ropy	1 253	418
Chemický a farmaceutický průmysl	36 418	149
Gumárenský a plastikářský průmysl	78 479	119
Chemický průmysl celkem	116 150	129

Zdroj informací: 13

Všechny nalezené popisy chemického průmyslu se soustřeďují na procesy s chemickou reakcí. Pro účely tohoto dokumentu byly vyseparovány informace o takových operacích v chemickém průmyslu, které nezahrnují chemické (biochemické) reakce. Biochemické reakce jsou popsány v kapitole koncových technologií jako biofiltrace.

Jednotkové operace, na které se tento dokument zaměřuje (procesy bez průběhu chemické reakce) v organické a anorganické chemii se často překrývají, a jejich popisy v obou hlavních kapitolách tohoto dokumentu mohou vypadat obdobně.

Jednotkové operace v organické a anorganické chemii se však mohou zásadně lišit emisemi do ovzduší.



3.2 Nakládání s anorganickými látkami, kde neprobíhá chemická reakce, jako např. výroba spotřební chemie mícháním komponent, síla, skladování sypkých materiálů

3.2.1 Úvod

Chemický průmysl EU má přibližně dvojnásobnou rychlost ročního růstu než ekonomika EU. Rychlost růstu chemického průmyslu EU je asi 3,1 % ročně, výroba základních anorganických chemikálií představuje nejméně rostoucí sektor chemického průmyslu. Roste rychlostí cca 0,2 % ročně. Podíl EU na celosvětové výrobě chemických produktů klesá. Dynamiku vývoje chemického průmyslu však není možné posuzovat jen podle růstu produkce, je nutné brát v úvahu i rychlý technologický pokrok. Z tohoto hlediska má chemický průmysl vynikající parametry vývoje.

Pro anorganickou chemii existuje celkem 5 sektorových BREF.

Jsou to následující:

- BREF LVIC-S - Velkoobjemové anorganické chemikálie – pevné láky a produkty příbuzné, český překlad TECHEM CZ, listopad 2006

BREF LVIC-S popisuje podrobně výrobu pěti základních produktů sektoru anorganické chemie, a dále výrobu 17 vybraných ilustrativních produktů. Na Sevillských webových stránkách je dále uveřejněn související dokument uvádějící neúplné informace o výrobě dalších devíti produktů ze stejného sektoru, který nebyl přeložen do ČJ.

- BREF SIC - Nejlepší dostupné techniky ve výrobě speciálních anorganických chemikálií, duben 2006, český překlad

BREF SIC dělí speciální anorganické chemikálie do pěti skupin (anorganické pigmenty, látky obsahující fosfor, silikony, výbušniny, kyanidy), a ty dále popisuje.

- BREF LVIC - Velkoobjemové anorganické chemikálie – amoniak, kyseliny a průmyslová hnojiva, říjen 2006, český překlad duben 2007

Emise z těchto výrob jsou velmi specifické a závěry tohoto BREF nejsou obecně využitelné pro jiné sektory chemických výrob.

- BREF CAK – Referenční dokument BAT v sektoru výroby chloru a louhu, říjen 2000, český překlad

Emise z této výroby jsou velmi specifické a závěry tohoto BREF nejsou obecně využitelné pro jiné sektory chemických výrob.

Horizontální (průřezové) BREF jsou využitelné pro anorganickou i organickou chemii. Jsou to následující:

- BREF EFS - Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách při omezování emisí ze skladování, leden 2005, český překlad
- BREF CWW - Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách Běžné čištění odpadních vod a odpadních plynů - Systémy managementu v chemickém průmyslu, únor 2002, český překlad

Typický závod pro výrobu/zpracování anorganických chemikálií je zpravidla složen z následujících výrobních celků:

- **Dodávka, manipulace, skladování a příprava surovin** a pomocných materiálů: dodávka, skladování a nakládání se surovinami a pomocnými materiály, jejich příprava (například navažování, míchání) a plnění do nádob v případě, že probíhá/jí chemická/é reakce (například reaktor, vypalovací pec)



- **Syntéza/reakce/kalcinace:** jádro každého procesu, ve kterém se přeměňují suroviny na surový produkt prostřednictvím chemické reakce, někdy s použitím katalyzátoru (pokud se jedná o výrobu anorganických chemikálií, pokud se jedná pouze o zpracování, pak je touto jednotkovou operací pouze míchání)
- **Separace a čištění produktu:** produkt, získaný chemickou reakcí, se odděluje (někdy v několika krocích) od dalších reakčních komponent (například nezreagované suroviny, vedlejší produkty, katalyzátory) a čistí se (někdy v několika krocích) dle požadované specifikace, zahrnuje filtraci, praní a sušení surového produktu
- **Manipulace s produktem a skladování:** skladování, balení a export finálních výrobků
- **Koncové technologie**-zpracování odpadních plynů a další opatření k ochraně prostředí

Těchto pět celků je doplněno o:

- Komplexní **infrastrukturu**, propojující výrobní kroky (například chladicí systém, vakuový systém, tlakový vzduch, bezpečnostní systém a zařízení)
- **Výroba energie** - výroba páry nebo elektrické energie pro použití ve výrobě a chladicí zařízení (v případě potřeby). Větší podniky z tohoto sektoru mají vlastní centrální zdroje energie (parní kotle, turbíny na výrobu elektrické energie). Menší podniky mohou energii nakupovat nebo vyrábět distribuovaně v jednotlivých malých kotlích, procesních pecích, nebo vyvíječích páry. Procesní pece jsou primárním zdrojem tepla v mnoha endotermních chemických procesech. Jsou zpravidla vytápěny zemním plynem.
- **Řídicí systém**, který zajišťuje provoz výroby za všech situací (normální provoz, nouzové situace). Lze na něj být pohlíženo jako na software, který je třeba pro práci hardwaru.

3.2.2 Používané techniky - jednotkové operace

V chemickém průmyslu lze rozlišit

- jednotkové procesy (probíhá chemická přeměna)
- jednotkové operace (probíhá fyzikální proces)

Tento dokument se z důvodů uvedených v kap. 3.2 nezabývá jednotkovými procesy.

Typické jednotkové operace jsou následující:

Rozpouštění surovin

Účelem je převést pevné suroviny do roztoku bez chemických přeměn a oddělit nerozpuštěné části pro další zpracování. Převod do kapalné fáze se provádí rozpouštěním, suspendováním, dispergací, emulgací, atd., pevné látky v rozpouštědle (obvykle jsou to kapaliny při pokojové teplotě a atmosférickém tlaku - například voda).

Rozpouštění probíhá definovanou rychlostí, která závisí na specifickém povrchu látky, která je rozpouštěna, na stupni krystalizace, rychlosti difúze v rozpouštědle a na teplotě. Látka se považuje často za málo rozpustnou, pokud je její rychlost rozpouštění nízká. Většina rozpouštěcích procesů je endotermní povahy a jsou tudíž urychlovány zvyšováním teploty.

Znečištění ovzduší: prach vznikající při manipulaci se surovinou, případně únik kapének při rozpouštění nebo přečerpávání výsledného roztoku



Mísení

Mísení může být klasifikováno podle skupenského stavu převládající komponenty (například: v plynné fázi, v kapalně fázi, mísení pasty, mísení granulí). U kapalin se mísení obvykle nazývá „míchání“ a u past se mísení obvykle nazývá „hnětení“.

Hrubé mísení pevných látek v mísicích je doprovázeno nepřetržitým pohybem materiálu v objemu. Podle tekutosti práškovitých látek během mísení lze prostřednictvím různých mechanismů a různých geometrií zařízení dosáhnout i pohybu částic, přiléhajících ke stěně nádoby.

Používané mísiče lze rozdělit na:

- Bubnové mísiče
- Šnekové mísiče
- Lopatkové mísiče
- Pneumatické mísiče
- Zásobníkové mísiče
- Vysokorychlostní mísiče

Mísení pevných komponent je důležitým krokem při výrobě a zpracování anorganických chemikálií.

Znečištění ovzduší: Při mísení jemných pevných materiálů (prášků) mohou vznikat prachové částice, které mohou být emitovány do vzduchu. Mísicí zařízení může být úplně nebo částečně uzavřené, nebo mohou být na výstupech z mísicích zařízení instalovány systémy, zachycující prach, aby se dosáhlo požadované minimalizace difúzních emisí. Prach, vedený v potrubí, může být veden do systému snižující emise (např. textilního filtru) za účelem minimalizace emisí do ovzduší.

Promývání

Promývání je často používáno k odstraňování rozpustných vedlejších produktů (například solí) při výrobě a čištění anorganických látek. Rozpouštění probíhá obvykle po syntéze/reakci nebo kalcinaci. Při výrobě speciálních anorganických chemikálií se provádí obvykle promývání vodou (občas organickými rozpouštědly, které jsou přidávány pro odstranění organických nečistot).

Znečištění ovzduší: buď žádné, nebo únik kapének

Sušení

Sušení znamená odstranění těkavých kapalin z pevných materiálů odpařováním a odstranění následných výparů. Kapalinou, která je při výrobě speciálních anorganických chemikálií odstraňována, je obvykle voda, ale může to být také rozpouštědlo, např. alkohol nebo aceton, anebo směs takových rozpouštědel. Odpařování kapalin vyžaduje dodávku tepla. Produkt, který je sušen, se označuje jako vlhká pevná látka. Médium, které dodává potřebné teplo, je nazýváno sušicím činidlem (sušidlem). Těmito činidly mohou být vzduch, inertní plyn nebo přehřátá pára. Teplo by mohlo být také dodáváno zářením, horkým povrchem nebo mikrovlnami.

V důsledku odlišného chování, které pevná látka projevuje během sušení, a technických požadavků na konkrétní výrobek, vzniklo velké množství typů sušáren.

Hlavní typy sušáren, používané při výrobě speciálních anorganických chemikálií, jsou:

- Rozprašovací sušárny
- Sušárny s fluidním ložem
- Rotační sušárny
- Statické liskové sušárny (pokojové sušárny). Protože někdy bezpečnostní hlediska nedovolují použití rozprašovacích sušáren, sušáren s fluidním ložem nebo rotačních sušáren, jsou používány statické liskové sušárny.



Protože při sušení se mohou částice shlukovat (agregovat), obvykle následuje mletí, při kterém lze získat požadovanou velikost částic.

Znečištění ovzduší: Proces sušení je zdrojem prachu a emisí VOC. Též je zdrojem emisí ze spalování, ať už se jedná o sušení přímé nebo nepřímé.

Snížení velikosti a separace částic

Snížení velikosti částic (drcením) je definováno jako mechanické rozmělnění pevných látek na menší částice bez změny jejich stavu agregace. Nejsou popsány procesy jako jemné rozprašování kapalin nebo oddělování plynu z bublinek. Hlavním důvodem pro snížení velikosti částic v jednotlivých odvětvích speciálních anorganických chemikálií je výroba částic o určité specifické velikosti nebo specifickém povrchu.

Zařízení na snížení velikosti částic nemůže fungovat bez pomocných zařízení, jakými jsou:

- Zásobníky
- Dopravníky
- Regulace posuvu a dopravní zařízení
- Ventilátory
- Potrubí
- Třídící zařízení
- Odlučovače prachu

Suché mletí/drcení

Suché mletí/drcení je procesem rozmělnění materiálů na jemný prášek nebo malé částice ve vhodných mlýnech bez přítomnosti kapaliny, buď tyčemi, koulemi nebo valouny nebo vlastním materiálem. Suché mletí/drcení se používá v případě, když následná operace probíhá „za sucha“, nebo když látka nesnáší vodu nebo jiné kapaliny. V souvislosti s bezpečností práce musí být věnována pozornost nebezpečí explozí (exploze prachu).

Znečištění ovzduší: Procesy suchého mletí/drcení jsou zdroji emisí prachu. Prach může obsahovat toxické látky, např. těžké kovy.

Mokrý mletí

Mokrý mletí/drcení je definováno jako rozmělnění (redukce na jemné prášky nebo malé částice materiálu) tuhých látek, suspendovaných v kapalině. Hlavními důvody pro používání této techniky jsou:

- Dávka je již připravena ve formě suspenze
- Konečný výrobek je vyžadován jako ve formě suspenze
- Dávkovaný materiál musí být jemně mletý a má tendenci se aglomerovat
- Materiál je výbušný nebo toxický

Mokrý mletí/drcení spojuje skutečné rozmělnění pevných částic s rozbitím aglomerátů a disperzí jednotlivých částic. V některých zařízeních je primárním cílem rozmělnění, zatímco v ostatních je prvotní deaglomerace.

Pro mokré mletí jsou používány rozmělnovací zařízení s výjimkou drtičů, rázových mlýnů a proudových mlýnů. Pracují s nízkou viskozitou suspenzí. Válec a vysoce kompresní válcové mlýny mohou být použity jen při vlhkosti 20 % nebo nižší. Některé válcové mlýny jsou vyrobeny pro mokré mletí. Mlýny válcové konstrukce, míchaný kulový mlýn, perlový mlýn a diskový mlýn byly speciálně navrženy pro mokré mletí.

Znečištění ovzduší: Tato operace obvykle nemá vliv na ovzduší.



Prosévání

Operace zahrnuje průchod částic materiálů skrz otvory síta o standardních velikostech za účelem rozdělení materiálu dle velikosti částic. Existují různé typy prosévacích operací:

- gravitační prosévání
- mechanické prosévání
- vakuové prosévání
- třídění vzduchem

Znečištění ovzduší: Proces prosévání je potencionálním zdrojem emisí tuhých znečišťujících látek.

Kondenzace

Látky v plynných směsích mohou být zachyceny ve formě kapalin (nebo tuhých látek) frakční kondenzací. Požadovaným produktem může být buď zbytkový plyn, nebo kondenzát. Důležitou roli při frakční kondenzaci hraje teplota, parciální tlak kondenzujících látek a jejich tlak páry. Rekuperace 100% kondenzujících látek není možná při dané teplotě, pokud kondenzujícími látkami jsou inertní látky. Kondenzace může být použita k oddělení produktů z odpadní vody nebo odpadního plynu, což často umožňuje recyklaci cenných surovin nebo rozpouštědla do výrobního procesu. Kondenzace těkavých látek je také používána k minimalizaci emisí polutantů do ovzduší, ale k dosažení nízkých emisí může být použita kryogenní kondenzace.

Znečištění ovzduší: Emise zbytkových komponent, které nezkondenzovaly, mohou být emitovány do ovzduší.

Destilace

Destilace je nejdůležitější průmyslovou metodou oddělování kapalin díky jejich odlišným bodům varu. Destilace spočívá v odpařování kapalné fáze a následné kondenzaci par. Tím se rozdělí počáteční směs (nástřík) do dvou frakcí s rozdílným složením, jmenovitě kondenzovanou páru (kondenzát nebo destilát), která je obohacena o více těkavé komponenty, a zbylou kapalnou fází (destilační zbytek), která je ochuzena o těkavé látky. Destilace může být rozdělena do podskupin podle:

- způsobu provozu (kontinuální nebo vsádková)
- provozního tlaku (vakuum, atmosférický tlak nebo přetlak)
- počtu destilačních pater (jedno- nebo vícepatrová)
- zavádění inertních plynů
- používání přídavných látek k podpoře separace (azeotropická a extrakční destilace)

Jednoduchou destilací může být řešen jen omezený počet úkolů při separaci, je nevhodná pro dělení látek, jež mají podobný bod varu. Zde se používá vícestupňová destilace.

Vyšší účinnosti lze dosáhnout zvýšením povrchu kapalné a plynné fáze. Rektifikační kolony zajišťují intenzivní přenos hmoty opakovaným protiproudým kontaktem plynné a kapalné fáze ve více stupních. Rektifikační kolony jsou navrženy jako patrové nebo náplňové, a mohou zahrnovat více než 100 destilačních pater. Vnitřní struktura kolony poskytuje velký kontaktní povrch pro přestup hmoty. Kontaktní povrch je maximalizován zajištěním úplného smáčení náplně kolony. Dodávka energie na dno destilační kolony slouží k vypařování nástříku a potřebné chlazení je na hlavě kolony. Kondenzační energie je pak předávána do chladicí vody nebo vzduchu, což poskytuje případnou možnost rekuperace energie.

Znečištění ovzduší: Odpadní plyny z destilace mohou obsahovat těkavé organické látky ve formě par nebo strhávaných kapiček/mlhy, i když toto lze omezit použitím dodatečných kondenzačních ploch. Nezkondenzované sloučeniny (například kyslík, dusík, oxid uhličitý, nízkovroucí organické látky) nejsou obvykle ochlazeny na svou kondenzační teplotu a vystupují z chladiče. Zdroji emisí jsou: chladič, zásobník, parní trysky, vakuové pumpy, pojistné tlakové ventily. Celkové množství plynů, emitovaných do ovzduší z destilace, závisí na: průniku vzduchu do kolony (vyšší, pokud je snížený tlak, a též velikost



kolony), množství inertního nosného plynu, plynech, rozpuštěných v nástřiku, účinnosti/provozu chladiče nebo jiných rekuperačních zařízení a fyzikálních vlastnostech organických složek.

Destilace vyžaduje zdroj tepla a tedy je zdrojem emisí ze spalování, a to buď přímo nebo nepřímo. Menší destilační zařízení mohou být vytápěna elektricky.

Odpařování

Roztoky, skládající se z rozpouštědla a rozpuštěných pevných látek, mohou být podrobeny jednoduché tepelné separaci odpařením rozpouštědla, a tím zahuštěním pevných látek, v důsledku nízké tenze par většiny pevných látek. Odpařování/zahušťování může také sloužit k účelu separace a regenerace čistého rozpouštědla. Odpařování je také vhodné používat k zahušťování emulzí a suspenzí. Obvykle se termín „odpařování“ používá, pokud je převládajícím záměrem regenerace rozpouštědla, a termín „zahušťování“, pokud je účelem separace pevné látky nebo její zkoncentrování.

Protože tepelná účinnost jednoduchých jednostupňových odparek je nízká, jsou zřídka používány. Jejich aplikace je omezena na systémy s malou kapacitou nebo na systémy, ve kterých produkt vyžaduje krátkou dobu setrvání v odparce vzhledem k citlivosti na teplotu.

Vícetupňové odpařování (nebo kaskádové odpařování) je efektivnějším prostředkem pro omezování spotřeby páry. Počet odpařovacích kroků je organizován tak, že páry rozpouštědla vytvořené v jednom stupni slouží jako topné médium pro následující stupeň. Rovněž páry vytvořené v posledním stupni nemusí být kondenzovány chladicím médiem, čímž se sníží množství chladicí vody.

Odpařování s rekompresí páry je založeno na principu tepelného čerpadla. Část nebo celkový tok páry rozpouštědla, opouštějící separační parní komoru odparky, je stlačen na vyšší tlak a kondenzován v parní komoře téže odparky. V mnoha případech toto uspořádání dosahuje takových specifických účinností ohřevu páry, kterých lze dosáhnout ve víceetapňové odparce, mající tři až pět stupňů.

Znečištění ovzduší: Odpařování vyžaduje zdroj tepla a tedy je zdrojem emisí ze spalování, a to buď přímo nebo nepřímo. Menší jednostupňové odparky mohou být vytápěny elektricky. Odpařování může být dále zdrojem emisí par rozpouštědla a v odplynech mohou být strhávány další látky pocházející ze zahušťované látky.

Separace pevných látek

Separace pevná látka-kapalina a pevná látka-plyn má průmyslový význam pro konečnou úpravu anorganické chemikálie a pro minimalizaci emisí tuhých znečišťujících látek do ovzduší. Konečná úprava produktu zahrnuje oddělení heterogenních katalyzátorů nebo separaci výrobků v pevném stavu, vedlejších produktů nebo meziproduktů.

Hlavními separačními technikami pro systém pevná látka-plyn jsou:

- cyklóny
- textilní filtry
- keramické filtry
- elektrostatické odlučovače
- pračky plynů

Hlavními separačními technikami pro systém pevná látka-kapalina jsou:

- odstřeďování
- filtrace
- sedimentace a čiření
- sušení

Znečištění ovzduší: V případě, že finální produkt není plynným, emise do ovzduší se zachycují použitím výše zmíněných technik (např. textilní filtry, elektrostatické odlučovače) pro oddělení tuhé fáze a plynu.



Extrakce

Extrakce je nejdůležitějším dělicím procesem, používaným v průmyslové chemii pro fázi kapalina-kapalina. Používá se hlavně, pokud ostatní separační metody nebo přímá destilace nejsou účinné nebo jsou příliš drahé. Extrakce zahrnuje:

- dělení komponent s podobným bodem varu
- dělení vysokovroucích látek z vodných roztoků
- dělení směsí s vysokými body varu
- dělení látek citlivých na teplo
- dělení azeotropních směsí (například extrakce kyseliny octové z vodného média)
- oddělování nečistot kvůli minimalizaci toků odpadních vod

Pro získání požadované látky z roztoku se přidává extrakční rozpouštědlo, které je nemísitelné s původním roztokem. Během kontaktu - nazývaným extrakce - mezi nástříkem a rozpouštědlem, vybrané látky přecházejí z výchozího roztoku do rozpouštědla. Požadovaná látka je poté oddělena z rozpouštědla destilací a rozpouštědlo je recyklováno. Někdy se používá selektivního působení rozpouštědla v kombinaci s destilací (extrakční destilace nebo azeotropická destilace). Jako extrakční zařízení se používají různé typy odlučovačů, odstředivých extraktorů a extrakčních kolon.

Znečištění ovzduší: Pokud je extrakčním činidlem organické rozpouštědlo, může být proces zdrojem emisí VOC.

Skladování a manipulace se surovinami a pomocnými materiály a finálními výrobky

Emise mohou vznikat během normálních operací, neplánovaných událostí nebo během nehod, při skladování surovin a pomocných materiálů, finálních produktů a odpadů. Látky, používané ve výrobě, mohou být skladovány jako plyny, kapaliny nebo pevné látky, skladovací nádoby mohou mít různé tvary, například malé pytle, vaky, sudy, velkoobjemové kontejnery nebo tanky. Pevné látky mohou být dokonce skladovány ve velkoobjemových skladech, které jsou monitorovány za účelem zabránění vzniku difúzních emisí prachových částic, vzniku zatvrdnutí hydroroskopických materiálů (např. síran železitý, síran hlinitý, soli chloridové, kyanidy) nebo zabránění neočekávaným chemickým reakcím díky překonání kritického množství sloučeniny (např. dusičnanu hlinitého, oxidu železnatého, aktivního uhlí). Emise se také mohou vyskytnout, pokud jsou materiály dopravovány do a ze skladovacích nádob. Tuhé anorganické suroviny, i produkty mohou být skladovány i na volných haldách.

Skladování, jako součást výrobního zařízení, je vystaveno riziku natlakování, netěsností a selhání zařízení. Podrobný návrh skladování závisí na základních vlastnostech látky, skladovaném množství a charakteru životního prostředí.

Rizika emisí ze skladování a manipulace s látkami mohou být relativně menší ve velkých výrobnách. Důvodem je, že velké výroby jsou zpravidla vybaveny zařízeními pro bezpečné nakládání, vykládání a dopravu materiálu (železniční nebo silniční cisterny), a to i na místě určení. Na druhé straně procházejí velkými závody velká množství materiálu, což zvyšuje pravděpodobnost emisí. Při hodnocení emisí je tedy nutné brát v úvahu kapacitu výroby. Ve velkých závodech musí být látky často dopravovány potrubím na velké vzdálenosti, což zvyšuje riziko poruchy na dlouhém potrubí. Při skladování látek na haldách, které je charakteristické právě pro sektor anorganické chemie, je možné aplikovat mnoho technik pro omezování emisí.

3.2.3 Emise do ovzduší

Emise do ovzduší z výroby a zpracování anorganických chemikálií lze hrubě rozdělit do tří skupin:

- První skupinu polutantů tvoří sloučeniny, které mohou být zachyceny skrápěním vodou, roztokem kyseliny nebo alkalických roztokem, jako jsou SO_2 , HCl , HF , SiF_4 , NH_3 , Cl_2 a H_2S . Zpracování koncových odpadních plynů absorpcí vodným roztokem může být realizované v jednom stupni



nebo ve více stupních. Protože roztoky silných kyselin tvoří snadno aerosoly, je v mnoha případech nutné zařadit vícestupňový absorpční systém, jehož součástí jsou i zachycovače kapek a mlhy. Pokud skrápěcí kapalina není vracena do procesu, většinou musí být upraveno její složení, především změnou pH a dalších charakteristik, než je vypouštěna.

- Druhá skupiny polutantů zahrnuje emise prachu z některých výrobních procesů a z manipulace se surovinami a produkty. Pro zachycení prachu jsou používány jak suché tak mokré systémy zachytu. Podle povahy procesu a způsobu nakládání s materiály (např. zda jsou použity mechanické dopravníky nebo dopravníky pneumatické) se může průtok odpadních plyných proudů významně měnit, a může se měnit i koncentrace polutantů a jejich povaha (kontinuální úniky a úniky nárazové).
- Emise NO_x a CO mohou vznikat při spalování paliv.

3.2.4 Úprava odpadních plynů

Volba techniky snižování emisí nebo pořadí technik závisí na znečišťujících látkách, přítomných v odpadním plynu. Níže jsou uvedeny typické polutanty produkované sektorem a způsoby jejich omezování:

Chlor

Běžně používaná technika zachycování polutantu je založena na alkalickém skrápění, jehož produktem je roztok chlomanu sodného, který je v případě, kdy pro něj není ve výrobně použití, ani nemůže být převeden na prodejní produkt, rozložen.

Chlorovodík

Běžně používaná technika zachycování polutantu je založena na skrápění vodou nebo roztokem alkálií, případně na kombinaci obou uvedených postupů. Produktem je roztok chlorovodíku, který je v případě, kdy pro něj není ve výrobně použití, ani nemůže být převeden na prodejní produkt, rozložen neutralizací. V případě zachytu do alkálie je produktem roztok chloridové soli.

Oxid siřičitý

Oxid siřičitý je zpravidla produkován spalovacími procesy s výjimkou případu, kdy je jako palivo používán zemní plyn, který je prostý sloučenin síry.

Je-li to nutné, může být oxid siřičitý zachycován alkalickým zkrápěním nebo katalytickou konverzí na kyselinu sírovou.

Oxidy dusíku

Oxidy dusíku jsou zpravidla produkovány spalovacími procesy. Vznik NO_x je možné omezovat jak přijetím primárních opatření, která omezují jejich vznik, tak instalací koncových technologií – sekundárních opatření (SNCR a SCR).

Amoniak

Emise amoniaku jsou zpravidla zachycovány skrápěním plynu vodou nebo/a kyselinou, přičemž získaný roztok je pak dále zpracováván. Roztok je pak použit ve vlastním výrobním procesu, pokud je to možné, nebo prodáván.



VOC

Tekavé organické látky (VOC) mohou unikat v případech, kdy jsou přírodní materiály (руды a dřevu) vystaveny vysokým teplotám. Pro zachyt může být použito více technik (termická oxidace, katalytická oxidace, absorpce, adsorpce).

Prach

Z mnoha procesů jsou emitovány prachové částice. Jejich zdrojem jsou procesy samotné, např. odpadní plyny ze sušáren nebo odpadní plyny z manipulace s tuhými látkami, typickým příkladem je odpadní vzduch z pneumatických dopravníků.

Pro zachycování prachových částic je používána řada technik: cyklony, tkaninové filtry, skrápěné kolony a jiné typy praček.

Výběr nejvhodnější metody pro každý případ vždy závisí na typu odpadního plynného proudu, který má být zpracováván, typu prachových částic (např. na jejich velikosti a chemickém složení), na teplotě, vlhkosti a pH.

Oxid uhelnatý

Emise obsahující oxid uhelnatý jsou produkovány v procesech spalování uhlíkatých paliv. Úroveň emisí závisí jak na režimu spalovacího procesu, tak na použitém palivu. Typickou metodou snížení emisí ze spalovacích procesů je zavedení takového způsobu řízení spalovacího procesu, který zajišťuje snížení obsahu oxidu uhelnatého ve spalínách.

3.2.5 Dosahované emisní úrovně

Vzhledem k rozmanitosti průmyslu anorganické chemie nelze agregovat emisní údaje uvedené v REZZO ze všech zdrojů znečištění ovzduší.

Tato kapitola se nezabývá hlavními chemickými procesy, ve kterých dochází k chemické reakci.

Hlavní znečišťující látkou, která vzniká při jednotkových procesech v anorganické chemii, jsou tuhé znečišťující látky.

Koncové technologie použitelné pro omezení TZL i jejich environmentální výkonnost jsou popsány v kapitole 4 tohoto dokumentu.

Zásadním problémem při volbě vhodné koncové technologie, případně vhodné tkaniny v případě tkaninového filtru, je možná agresivita prachů z oblasti anorganické chemie.



3.3 Nakládání s organickými látkami, kde neprobíhá chemická reakce, jako např. výroba spotřební chemie mícháním komponent (barvy bez obsahu VOC), skladování sypkých materiálů

3.3.1 Úvod

Chemický průmysl je velmi složitým sektorem průmyslu, v němž je vyráběno neuvěřitelné množství produktů nejrozličnějších vlastností. Ve světě se vyrábí kolem 70 000 chemických sloučenin, z nichž každá má své specifické chemické vlastnosti a je vyráběna jistým syntetickým postupem (postupy) a každá má odlišný způsob použití. V oboru organické chemie existuje podle některých odhadů více než 16 milionů organických sloučenin, a to i přesto, že počet prvků ve sloučeninách je relativně nízký.

Pro organickou chemii existují celkem 3 sektorové BREF.

Jsou to následující:

- BREF LVOC - Referenční dokument BAT Velkoobjemové organické chemikálie, únor 2002, český překlad
- BREF OFC – Dokument o nejlepších dostupných technikách ve výrobě speciálních organických chemikálií (Organic Fine Chemicals), únor 2006, český překlad
- BREF POL - Pracovní verze dokumentu o nejlepších dostupných technikách ve výrobě polymerů, konečný návrh červen 2006, český překlad

Horizontální (průřezové) BREF jsou využitelné pro anorganickou i organickou chemii. Jsou to následující:

- BREF EFS - Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách při omezování emisí ze skladování, leden 2005, český překlad
- BREF CWW - Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách Běžné čištění odpadních vod a odpadních plynů - Systémy managementu v chemickém průmyslu, únor 2002, český překlad

3.3.2 Používané techniky – jednotkové operace

Jednotkové operace v organické chemii se zabývají většinou fyzickým transferem energie a materiálu mezi šesti možnými kombinacemi fází (tj. plyn-plyn, plyn-kapalina, plyn-pevná látka, kapalina-kapalina, kapalina-pevná látka, pevná látka-pevná látka). Ne všechny jednotkové procesy se používají stejně často. Nejvíce emisí z výroby organických chemických látek pochází z několika jednotkových operací:

Reakce používané při výrobě organických látek nikdy nedosahují úplné selektivity na cílový produkt; proto mají značný význam jednotkové operace, kterými se separují odpady od produktů. Mnohé výrobní postupy vyžadují oddělení jednotlivých substancí od homogenních směsí kapalin nebo úplné rozdělení takového směsi na jejich části. Separace mohou být obecně rozděleny do následujících kategorií:

- separace kapaliny od páry (destilací, odpařováním, stripováním v systému pára/plyn)
- separace kapaliny od kapaliny (extrakcí, dekantací, odstředováním, vícestupňovým kontaktem)
- separace pevné látky od kapaliny (odstředováním, filtrací, sedimentací, sušením, krystalizací)
- separace pevné látky od plynu (filtrací)
- separace pevné látky od pevné látky (proséváním, elektrostaticky, gravitací, flotací).



Použití jednotkových operací v chemickém průmyslu organické chemie určují fyzikální a chemické vlastnosti dělených látek. Environmentální vliv různých operací se liší podle podmínek, za jakých jsou provozovány (např. při vakuové destilaci se uvolňuje méně difúzních emisí, nežli při destilaci za zvýšeného tlaku, ale může zahrnovat dodatečné bodové zdroje emisí do ovzduší). Jednotkové operace separace mohou mít dopad na životní prostředí, neboť jsou jen zřídka účinné ze 100 % (tj. část produktu se ztrácí v odpadním proudu) a často zavádějí nový materiál, který vyžaduje regeneraci/čištění (např. znečištěné rozpouštědlo nebo prací vodu).

Přehled použití separačních technik je uveden v tabulce níže. Následuje stručný přehled nejvýznamnějších jednotkových operací z environmentálního pohledu, společně s indikací jejich hlavního dopadu na znečištění ovzduší.

Použití některých vybraných separačních technik

Technika	Princip separace	Použití
Frakční destilace	rozdílné body varu	základní materiály, meziprodukty, konečné produkty
Extrakční destilace	rozdílná polarita	nenasycené od nasycených
Extrakce kapalina-kapalina	rozdílná polarita	aromáty od nearomatických
Technika molekulových sít	různé průměry molekul	n-alkeny od rozvětvených a cyklických uhlovodíků
	různá polarizovatelnost molekul	n-alkeny od a-alkanů; p-xylen od m-xylenů
Krystalizace	rozdílné rozpustnosti	přečištění rekrytalizací
	rozdílné body tání	p-xylen od m-xylenů

Absorpce

Absorpce je vniknutí jedné látky do vnitřní struktury látky jiné; nejtypičtěji plynu do kapalného rozpouštědla. Absorpce je jednotkovou operací nejen pro chemickou výrobu, ale rovněž pro ochranu životního prostředí při likvidaci plyných emisí (kdy se nazývá praní nebo zkrápění - *scrubbing*). Interakce mezi absorbovaným materiálem a rozpouštědlem může být fyzikální nebo chemické povahy. Při fyzikální absorpci jsou molekuly plynu polarizovány, ale jinak zůstávají nezměněny. Koncentrace rozpuštěných plynů v rozpouštědle proporcionálně roste s parciálním tlakem plynu. Při chemické absorpci jsou plyny chemicky změněny. Reakce a konverze mezi plynou a kapalnou fází jsou mnohem pomalejší, než reakce mezi složkami v jednofázové směsi, a proto vyžaduje absorpce plynu poměrně velké reakční objemy. Zařízení pro absorpci obecně sestává z kolony s vestavbami pro ohřev a látkovou výměnu, do níž se plyn uvádí protisměrně do kontaktu s regenerovaným absorbentem. Vestavby usměrňují kapalný a plyný proud a zlepšují kontakt mezi oběma fázemi. Používají se různé úpravy, zejména absorpční disky, zřídka sypaná výplň, nebo orientovaná výplň.

Znečištění ovzduší: Vyčištěný plyn je odebírán z hlavy kolony a je přednostně znovu použit v procesu. Není-li opakované použití možné, může si plyný proud vyžádat další likvidaci (např. spálením).



Destilace

Destilace je nejvýznamnější průmyslovou metodou fázových separací. Destilace zahrnuje parciální odpaření kapalné fáze, následované kondenzací par. Tento proces rozdělí výchozí směs (nástřík) do dvou frakcí s různým složením, a to kondenzovanou páru (kondenzát nebo destilát) obohacenou o těkavější složky, a zbývající kapalnou fázi, destilát, ochuzený o těkavější složky. Destilace mohou být rozděleny do kategorií:

- podle způsobu provedení (kontinuální nebo násová)
- podle provozního tlaku (vakuová, atmosférická, za zvýšeného tlaku)
- podle počtu destilačních stupňů (jednoduchá nebo vícecestupňová)
- se zavedením inertních plynů (např. páry) k usnadnění separace
- s použitím přídavných látek k usnadnění separace (azeotropická a extraktivní destilace)

Pomocí prosté destilace může být vyřešeno jen omezené množství separačních úkolů; je nevhodná pro separaci směsi látek s blízkými body varu. Vyšší efektivity lze docílit zvětšením kontaktního povrchu nebo stykem kapaliny a parní fáze. Rektifikační kolony zajišťují masivní přenos hmoty opakovaným protiproudým stykem parní a kapalné fáze v mnoha stupních. Rektifikační kolony mají patrové nebo náplňové uspořádání a mohou zahrnovat až 100 destilačních kroků. Teplo je potřeba dodávat do dna destilační kolony k odpaření nástříku; kondenzační teplo je potřeba odebírat na vrcholu kolony. Kondenzační teplo je obvykle předáváno do chladicí vody nebo vzduchu, což může být příležitost k regeneraci energie.

Znečištění ovzduší: Destilační kolony mohou přispívat k emisím třemi způsoby: existencí nečistot v produktu, tvorbou polymerů v důsledku zvýšené teploty ve vařáku a nedostatečnou kondenzací. Odplyny z destilace mohou obsahovat těkavé organické látky ve formě par nebo unášených kapiček/mlhy, což lze omezit použitím dodatečného kondenzačního prostoru. Nekondenzující substance (např. kyslík, dusík, oxid uhličitý, nízkovroucí organika) se obvykle neochladí až na jejich teplotu kondenzace a opouštějí kondenzátor. Emisními místy u destilací jsou zpravidla: kondenzátor, akumulátor, parní ejektory, vakuové pumpy a odvzdušňovací ventily. Celkový objem plynů, emitovaných z destilačního provozu, záleží na: průniku vzduchu do kolony (vzrůstá se snížením tlaku a zvětšením velikosti); objemu nosného inertního plynu; plynech, rozpuštěných v násově; účinnosti / provozu kondenzátoru, nebo jiného regeneračního zařízení; fyzikálních vlastnostech organických složek.

Extrakce

Extrakce je nejdůležitější metodou k separaci dvou kapalin používanou v chemickém průmyslu. Používá se hlavně tam, kde jiné separační metody nebo destilace jsou neúčinné, nebo příliš drahé. Obvykle se mluví o:

- separaci komponent s podobnými body varu (např. separace aromátů od uhlovodíků)
- separaci vysokovroucích látek od vodných roztoků
- separaci směsí s vysokými body varu
- separaci látek citlivých na zvýšenou teplotu
- separaci azeotropních směsí
- separaci polutantů k minimalizaci proudů odpadních vod.

Abychom extrahovali látku, musíme přidat extrakční rozpouštědlo k vytvoření druhé kapalné fáze roztoku. Obecně se žádaná látka oddělí od rozpouštědla destilací a rozpouštědlo se recykluje. Někdy se využívá selektivní reakce rozpouštědla v kombinaci s destilací (extrakční destilace nebo azeotropická destilace), např. při výrobě velmi čistých lehkých aromátů.



Znečištění ovzduší: Extrakční činidla se většinou recyklují. Pokud je extrakční činidlo těkavou organickou látkou, mohou vznikat emise do ovzduší z netěsností. Některá speciální extrakční činidla mohou vyžadovat likvidaci spalením.

Separace pevných látek

Separace pevných látek od kapalin a plynů mají průmyslový význam při finalizaci produktu a pro minimalizaci emisí se zvláštním významem pro životní prostředí. Použití při dokončování produktu zahrnuje oddělení heterogenního katalyzátoru od produktového proudu, nebo oddělení pevných produktů, vedlejších produktů nebo meziproduktů (např. síranu amonného v akrylonitrilovém procesu, BTX-aromátů při nízkých teplotách). Hlavními separačními technikami pro dělení plynů od pevných látek jsou cyklony, tkaninové filtry, keramické filtry, zařízení pro separaci na mokré cestě, elektrostatické precipitátory, odprašovací zařízení a vysoce účinné Venturiho pračky. Hlavní techniky pro dělení kapalin od pevných látek jsou odstřeďování, filtrace, sedimentace a klerace, sušení a krystalizace. Výběr technik záleží na:

- charakteristice částic a nosném proudu plynu
- procesních faktorech, jako teplota a tlak
- provozních faktorech, jako je využitelný prostor pro instalaci technologie

Znečištění ovzduší: Emise pevné látky do ovzduší ve formě TZL – může se jednat o toxické látky.

Adsorpce

Adsorpce je fyzikální akumulace materiálu (obvykle plynu nebo kapaliny) na povrchu pevného adsorbentu. Průmyslový adsorpční proces se používá k odstranění určitých komponent z mobilní fáze (např. vzduchu nebo vody) nebo k rozdělení směsí. Použití může být vztaženo k výrobě, nebo k odstraňování odpadních komponent, a může zahrnovat odstranění vody z plynů nebo odstranění organických látek z proudu vzduchu nebo z kouřových plynů. Nejlepší adsorbenty jsou charakterizovány velkým počtem různě velkých pórů, takže komerčně nejdůležitější jsou aktivní uhlí, zeolity, silikagel a oxid hlinitý. Zeolity (molekulární síta) mají velmi úzkou distribuci mikropórů a přednostně adsorbují polární nebo polarizovatelné materiály (např. vodu nebo oxid uhličitý). Naopak aktivní uhlí má hydrofobní charakter a je zejména vhodné k odstraňování organických substancí.

Znečištění ovzduší: Odplyny uvolněné při desorpci v průběhu regenerace adsorbentů.

Kondenzace

Komponenty z plynných směsí mohou být separovány na kapaliny (nebo pevné látky) frakční kondenzací. Žádaným produktem mohou být buď zbylý plyn, nebo kondenzát. Teplota, parciální tlak kondenzující složky a její tenze par jsou propojeny. Zpětné získání 100 % kondenzující substance není možné při žádné teplotě, jsou-li přítomny inerty spolu s kondenzujícími složkami. Kondenzace může být použita k separaci produktů z odpadních proudů, což často umožňuje získat cennou násadu nebo rozpouštědlo pro výrobní proces. Kondenzace těkavých složek se rovněž používá k minimalizaci emisí polutantů do ovzduší, někdy však je nutno použít k dosažení požadované úrovně emisí kryogenní kondenzace.

Znečištění ovzduší: Zbytkové nezkondenzované komponenty.



3.3.3 Používané techniky – procesní zařízení a infrastruktura

Každá výroba organických látek musí mít určitou infrastrukturu, která vzájemně propojuje výrobní jednotky. Ačkoli infrastruktura nemusí být přímo zapojena do výrobního procesu, poskytuje potřebné služby k zajištění efektivní a bezpečné výroby, neohrožující životní prostředí. Následující část poskytuje stručný popis klíčových výrobních reaktorů a podpůrné infrastruktury.

Reaktory

Reaktory jsou obvykle klíčovou operací procesu, neboť v nich probíhá konverze surovin na produkt. Existuje široká škála reaktorů; jejich design může být velice specifický s ohledem na proces, ale obecně mohou být klasifikovány podle:

- Způsobu provozu (kontinuální nebo násoadový) – organická chemie až na výjimky využívá kontinuální reaktory.
- Reakční fáze – jednotkové procesy mohou být prováděny v reaktorech jako heterogenně katalyzované reakce, kde plynné reakční složky v kontaktu s katalyzátorem zreagují opět na plynné produkty. To má výhodu v zamezení smíchání produktu s katalyzátorem nebo rozpouštědlem; nevýhodou je vysoké zředění dávkovaných surovin a nízká dosažená konverze. Reakce plyn – kapalina jsou rovněž důležité pro relevantní jednotkový proces, zejména pro oxidaci a chloraci; může být prováděn v řadě typů reaktorů, jako jsou kontinuální míchaný zásobník, pístový tok (např. oxidace etylenu na etanol), nebo bublinkové kolonové reaktory.
- Geometrie reaktoru – model toku a způsob styku fází. Některé typické konfigurace reaktoru jsou:
 - s pevným trubkovým ložem (např. oxidace etylénu na etanol na kyselém katalyzátoru)
 - vícetrubkový s pevným ložem (např. oxidace etylénu na etylenoxid na stříbrném katalyzátoru)
 - s fluidním ložem (např. amoxidace propylenu na akrylonitril).

Emise do ovzduší z reaktorů mohou pocházet:

- u reaktorů v kapalné fázi z přímých výstupů z reaktoru
- u reaktorů v kapalné fázi z výstupů proudů z regeneračních zařízení
- u plynofázových reaktorů z procesních proudů (z prvního nebo druhého regeneračního zařízení)
- u kteréhokoli z výše uvedených proudů z odpadních plynů spalovacího zařízení
- úniky vytěkáním skrze utěsnění míchadel, čerpadel nebo osy ventilů, bezpečnostní ventily, příruby a další

Reaktory jsou vybaveny vstupy (umožňující vsádku surovin a vstup inertních plynů) a výstupy (k odebírání produktů a odpadů a nouzové výstupy). Jsou zde rovněž přístupová místa k zajištění měření reakčních podmínek, pro údržbu a pro míchání, zajišťující dokonalé smísení reakčních komponent. Tyto spoje jsou potenciálními místy ztrát a jejich počet je tedy nutno minimalizovat.

U reaktorů je rovněž běžné, že jsou vybaveny nějakou formou přímé nebo nepřímé výměny tepla k řízení teploty buď ohřevem, nebo chlazením. Kvůli tlumení výkyvů teploty a kvůli zamezení ztrát bývají reaktory izolovány.

Vyprazdňování a čištění reaktorů jsou potenciálními zdroji ztrát; ty mohou být minimalizovány: zmenšením počtu vnitřních překážek; instalací výpusti v nejnižším místě aparátu; instalací vstupů tak, aby byly spádovány zpět do reaktoru. Toto je doplněno provozními praktikami, jako je udržování systému v horkém stavu při jeho vyčerpávání, používání parního čištění a plánování výrobních kampaní (používá-li se) s minimem změn.



Dodávky energie

Mnohé reakce a separace v procesech výroby organických látek mají významné požadavky na energii. Zdroje energie závisejí na požadavcích procesu a na místní dostupnosti. Řada provozů nakupuje energii od třetích stran nebo využívá centrálních zdrojů, které v mnoha závodech existují. Hlavními zdroji jsou pece s přímým spalováním, parní kotle, výroba páry v turbinách a výměna tepla (z teplejšího zdroje nebo surovin).

Procesní pece jsou primárními zdroji tepla pro mnoho endotermních chemických procesů a jsou většinou vytápěny spalováním plyných nebo kapalných paliv. Procesní pece jsou často chemickými reaktory a spotřebovávají energii. Stejně jako výměníky tepla jsou považovány za procesní zařízení.

Pára se normálně vyrábí v parních kotlích nebo v kombinovaných jednotkách pro výrobu páry a elektrické energie. Energie z kotlů je distribuována po celé výrobě s využitím teplosměnného média (obvykle pára, ale může to být i voda nebo olej). Velké chemické komplexy mají obvykle k dispozici páru na různých úrovních energie (vysoko-, stredo- a/nebo nízkotlaká). Teplo je uváděno do procesů buď přímo (např. parním injektorem), nebo nějakou formou tepelného výměníku (deskový nebo trubkový typ). Kondenzát z páry má svůj vlastní systém sběru a vrací se zpět do ohříváku.

Elektrická energie je potřeba pro zařízení, jako jsou čerpadla, mixéry, kompresory a osvětlení. Proud může být vyráběn na místě nebo nakupován, ale v chemickém průmyslu je tendence vyrábět společně elektřinu a páru kogenerací. Tyto jednotky splňují oba požadavky a navíc mají vysokou celkovou účinnost. Zmenšují rovněž závislost na externích zdrojích energie a mohou navíc dodávat proud do sítě.

Chlazení

Obecně se chladicí systémy používají jen tehdy, když množství vznikajícího odpadního tepla již bylo minimalizováno a byly vyčerpány všechny možnosti jeho druhotného využití. Použitím takovéto integrace tepla do procesu je možno docílit značných úspor a mohou být redukovány emise. Odvod tepla z exotermních procesů je velmi důležitý pro řízení procesu a z bezpečnostních důvodů; chlazení může být rovněž požadováno k vytvoření správných podmínek pro určitý procesní stupeň (např. zkapalnění nízkovroucích podílů). Téměř všechny výroby organických látek mají systém chlazení; obvykle s vodou jako chladicím médiem, ale roste používání chlazení vzduchem. Pro chlazení pod cca 20 °C je nutno používat jiných chladicích médií (amoniak, uhlovodíky, kapalný oxid uhličitý).

Chladicí systémy obvykle zahrnují nějakou formu výměníku tepla k odvedení tepla z procesu do teplosměnného média, a mechanismus pro rozptýlení tepla do okolního prostředí. K dispozici je široká škála chladicích technologií. Použití chladicích systémů velmi závisí na místních specifických podmínkách; každý případ musí být kvůli dosažení požadavků na chlazení posouzen individuálně s použitím principů, uvedených v horizontálním BREF. Je nutno brát ohled zejména na:

- potenciální materiálové ztráty, které závisí hlavně na účinnosti chladicího systému, použitého pro kondenzaci
- spotřebu zdrojů (voda, vzduch, energie, chemické látky)
- emise do vod (chemikálie a teplo) a do ovzduší, hluk, oblaky a produkce pevných odpadů
- rizika
- emise pocházející ze specifických situací (start/odstavení) nebo nehod
- vliv procesu a návrhu zařízení, materiálu a údržby
- ukončení provozu zařízení.



Obecně se vodní odpařovací chladicí věže navrhují tak, aby kondenzované oblaky nedosáhly dolní úrovně okolního terénu, což by mohlo způsobit nepříjemnosti (ztrátu světla, omezenou viditelnost, vznik náledí) a kontaminaci (obsaženými biocidy a mikroorganismy). Chladicí okruhy jsou rovněž monitorovány na kontaminaci procesní kapaliny s použitím některého odpovídajícího parametru (např. vodivosti) a teplotní poplachové signalizace k zamezení přehřátí.

Vymražování

Mražení (ve smyslu chlazení na teploty pod 0 °C) je navrhováno tam, kde proces vyžaduje nižší teploty, nežli je možno dosáhnout chlazením vodou – obvykle jako centrálního zařízení závodu.

Chlad se po závodě distribuuje buď chladicí vodou (pro teploty do cca 10 °C), nebo solankou (až do –30 °C). Jsou přijímána opatření k minimalizaci úniků chladiva z čerpadel, potrubí, spojů atd. K detekci ztrát těkavých látek mohou být použity místní detekční systémy.

Skladování a manipulace

Emise mohou pocházet ze skladování surovin, meziproductů, produktů i odpadních látek při běžné manipulaci a při nehodách. Látky mohou být skladovány jako plyny, kapaliny, i v pevném skupenství, a skladovací nádoby mohou mít různé podoby, jako např. sila, pomocné kontejnery (v angl. IBC, *Intermediate bulk containers*) nebo zásobníky. Emise se rovněž mohou uvolňovat při plnění a vyprazdňování skladovacích nádob.

Odvzdušnění

Všechny nádoby a zařízení, obsahující chemické látky, se posuzují z pohledu možného scénáře vzniku přetlaku. Primární ochrana spočívá v kontrolách, automatických hlásičích a obchůzkách, může se však ukázat jako nezbytné poskytnout zdvojenou ochranu ve formě pojistného ventilu nebo pojistné membrány. Konstrukce pojistného ventilu nebo membrány záleží na poměrech uvolnění plynů, způsobech uvolnění, provedení odvodu a rozptýlu plynu. Návrh zařízení na sběr a čištění závisí na množství a možném vlivu nekontrolovaného uvolnění tlaku. Obecně je možné směřovat tyto proudy do likvidačního systému (např. spalovacího plamene) nebo shromažďovat obsah reaktorů do tlumicího tanku.

Vakuum

V typické výrobě organických látek je mnoho požadavků na snížený tlak. Úroveň vakua záleží na množství zpracovávaného plynu a stupni ochlazení / kondenzace v daném systému. Vakuum může být dodáváno několika způsoby:

- Parní ejektory. Jsou jednoduché, spolehlivé a široce používané, ale mohou být hlučné. Vzniká v nich proud s nízkou koncentrací škodlivin, což může být minimalizováno použitím povrchového kondenzátoru parního proudu (lépe než přímého).
- Vodokružné pumpy. Maximální dosažitelné vakuum je omezeno tlakem páry těsnící kapaliny. Některé znečišťující látky v proudu plynu jsou absorbovány těsnící kapalinou a jejím vyčištěním vzniká koncentrovaný proud, který je potřeba čistit, nebo regenerovat. Procesní kapalina může být použita k těsnění, což odstraňuje vznik odpadního proudu. Tento typ pump může být hlučný.
- Suché vakuové pumpy. V tomto typu pump nevzniká odpadní proud, neboť těsnění je dosaženo vysokou rotační rychlostí točivé pumpy s těsnou tolerancí. Přítomnost kondenzujících kapalin nebo pevných látek může vyžadovat náročnou údržbu (koroze, abraze), nebo způsobit havárii. Suché vakuové pumpy nemohou být použity tam, kde procesní kapalina je potenciálně výbušná za normálních nebo mimořádných podmínek.



Průsak vzduchu přes ucpávku je hlavním faktorem účinnosti vakuového systému. Průsak vzduchu může být omezen pečlivým provedením, správným výběrem zařízení a častou údržbou. Nadměrné úniky lze odhalit pomocí přístrojů.

Čerpadla, kompresory, ventilátory

Čerpadla, kompresory a ventilátory (větráky) se rozsáhle používají ke zvýšení tlaku sloužícího k transportu kapalin a plynů mezi zařízeními. Existuje široký výběr zařízení, mnohé z nich byly vyvinuty pro speciální užití; obecně je nutno rozlišovat mezi odstředivými, rotačními a recipročními typy.

Čerpadla (pumpy) vyžadují těsnění (ucpávky) k zamezení úniku ztrát z místa styku mezi hřídelí a čerpaným médiem, určitý únik čerpané kapaliny je ale nutný k mazání ucpávky. Mechanické ucpávky se vyznačují nižším průsakem než těsnicí šňůry, jsou-li správně sestaveny a nejsou vystaveny vibracím. Dvojitě mechanické ucpávky nabízejí další úroveň prevence úniků; spoléhají se na přetlak v dutině mezi oběma ucpávkami. Ještě větší úroveň ochrany nabízejí čerpadla, která se obejdou bez ucpávek (např. magneticky poháněná čerpadla, odstředivá čerpadla, diafragmové pumpy); takové pumpy však mohou být méně účinné.

Kompresory mají shodné rysy s čerpadly, ačkoli u nich jsou složitější poměry ohledně mazání a chlazení styku mezi stacionární a oběžnou částí. Běžné typy ucpávky kompresorů lze rozdělit na: labyrint; omezující kroužek; mechanické; s kapalným filmem a s magnetickým kroužkem. Systém těsnění hřídele obvykle umožňuje únik plynů a je nutno počítat s jeho likvidací.

Potrubí

Potrubí pro dopravu plynů, kapalin a pevných látek jsou integrální součástí všech procesů. Provedení potrubí závisí na faktorech, jakými jsou provozní tlak, teplota a agresivita substance, takže je velmi specifické pro každou aparaturu. Dobře navržené potrubí jen zřídka trpí závadami a většina ztrát souvisí spíše s potrubními spoji. Potrubní spoje mají význam buď jako spojovací prvek (spojují např. dva rovné úseky potrubí, slouží ke změně směru potrubí, změně průměru potrubí, spojují dva proudy), nebo připojují okolní zařízení (čerpadla, kompresory, zásobníky, armatury). Tyto spoje mohou být provedeny různými metodami, jako přírubami, svary a závit. Speciální pozornost se věnuje případům, kdy je potrubí liniové povahy. Všeobecně se usiluje o minimalizaci délky potrubních úseků a o minimalizaci počtu spojů. K zamezení úniků z potrubí jsou důležité inspekční a údržbářské cykly zejména tam, kde je potrubí mimo frekventovanou část aparatury.

Armatury

Armatury se široce používají na aparaturách k řízení a zamezení toků plynů a kapalin. Výběr a provedení armatur jsou velmi specifické pro daný případ, obecně však rozlišujeme hlavní typy šoupě, kohout, ventil a kulový ventil. Vnitřní části armatury jsou obvykle ovládány zvnějšku, což si vynucuje přítomnost ovládacího dřívku. Ztrátám provozní tekutiny se obvykle čelí těsněním šňůrou, podobně jako u pump; za podmínek teploty, tlaku, vibrací a koroze může těsnění ztratit svou schopnost a dochází k únikům.

Tyto ztráty mohou být omezeny použitím vlnovce nebo diafragmy, jimiž se izoluje ovládání armatury od provozního média. Vlnovcové armatury jsou ovšem podstatně dražší než šoupata, a jejich velikost může způsobit potíže při navrhování potrubí. Podobně může být použití diafragmových armatur omezeno tlakem, teplotou a korozivitou okolí, typických pro provoz organické chemie.

Pomocná média

V aparaturách je používáno mnoho plynů usnadňujících provozování aparatury nebo vykonávajících speciální funkce. V provozních jednotkách může být distribuční systém pro plyny jako dusík, oxid uhličitý



a stlačený vzduch. Plyny jsou obvykle inertní a neškodné, mohou však z provozu obsahovat příměsi produktu nebo odpadních látek a pak musí být čištěny.

Vzduch, oxid uhličitý a dusík mají významné užití při zbavování nádob a zařízení toxické nebo hořlavé atmosféry. Jednotka se obvykle před spuštěním naplní vzduchem a dusíkem či oxidem uhličitým. Čištění pomocí vzduchu nemůže být použito v případě přítomnosti hořlavých par; v těchto případech se používá pára nebo dusík. Přání používat z environmentálních důvodů minimum čistícího plynu nesmí převážet nad prioritním hlediskem zdraví a bezpečnosti. Rozsah čištění může být zkrácen kontinuální analýzou vhodného parametru, např. obsahu kyslíku, která ukáže dosažení požadovaného stupně čištění. Znečištění čistícího média může být zmenšeno dokonalým vyprázdněním aparatury před zavedením čistícího plynu.

Stlačený suchý vzduch se používá k čištění, k pohonu řídicích armatur, pohonu spínacích ventilů a pro provoz zařízení, je ale méně a méně využíván pro pohon pneumatických ventilů k řízení procesů. Jednotky rovněž mívají řadu systémů pro různé kvality vody (např. pitnou vodu, demineralizovanou vodu pro kotle).

3.3.4 Používané techniky – odstraňování emisí

Použití technologií k odstraňování emisí je silně závislé na místní specifické situaci a musí být posouzeno případ od případu. Tam, kde plynné a kapalné proudy nezbytně pocházejí z procesu (tj. kde byly plně využity techniky prevence), je cílem maximalizovat počet výstupů; ty jsou pak svedeny dohromady a společně podrobeny odpovídajícímu čištění. Řada velkých závodů využívá centralizovaných zařízení pro likvidaci odpadů v plynech a vodách (ačkoli je často obtížné soustředit odpadní plyny ke společnému čištění). Centrální čistící stanice mají ekonomickou výhodu (ve velikosti) při instalaci a provozování zařízení a jsou schopny tlumit hydraulické a chemické fluktuace v přítoku a tím stabilizovat proces.

Proudy plynů, vystupující z čistícího zařízení, mají být vypouštěny tak, aby byly uspokojivě rozptýleny do okolí a nezpůsobovaly škody. Zejména je důležité, aby výduchy byly umístěny dostatečně vysoko s ohledem na místní meteorologické a topografické poměry a okolní budovy a na výstupy z ostatních zdrojů.

Obvyklé zdroje emisí z výrobních procesů organické chemie do ovzduší jsou uvedeny níže:

Dodávka surovin a jejich úprava

- odpadní plynné proudy (odplyny) z destilačních kolon a stripovacích kolon používaných pro odstranění některých nečistot ze suroviny,
- odpadní plyny z nádob na míšení vstupních surovin (těkavé organické sloučeniny VOC a prachové částice).

Syntéza

- odpadní plynné proudy z výrobních zařízení (např. odpouštění inertních plynů z kondenzátorů, vypouštěcích sběrných nádrží, zkrápěných kolon),
- odpadní plyny uvolňované při přípravě, aktivaci katalyzátorů a při regeneraci katalyzátorů (obsahující VOC, CO_x, NO_x, SO_x),
- bezpečnostní vypouštěcí mechanismy zajišťující bezpečnost procesů (přetlakové pojistné ventily, pojistné membrány).



Izolace produktů a jejich čištění

- odpadní plyny z technologických zařízení (např. z destilačních kolon, stripovacích kolon, krystalizátorů, kondenzátorů),
- prachové částice ze sušení tuhých produktů a manipulace s nimi,
- CO_x a VOC z regenerace adsorpčních činidel, regenerace rozpouštědel.

Skladování produktu a manipulace s ním

Obecně je možné označit jako potencilání zdroje emisí tyto operace:

- úniky par vytěsněním plynů z plynového prostoru zásobníků během plnění a vlivem tzv. dýchání zásobníků způsobeného změnou okolní teploty, která ovlivňuje roztažnost plynů v zásobníku (unikají převážně VOC, rychlost úniku závisí hlavně na tlaku nasycených par skladované kapaliny),
- nakládání a vykládání zásobníků a cisteren (zařízení pro dopravu silniční, železniční i lodní),
- inertní plyny využívané k inertizaci atmosféry v zásobnících,
- únik prachových částic z pásových dopravníků,
- úniky vypařováním kapalin unikajících při manipulaci.

Zachycování a likvidace emisí

- jednotky na spalování odpadních plynů (např. bezpečnostní hořáky a zařízení na spalování odplynů) mohou být zdrojem emisí sekundárních polutantů, které nejsou přítomny ve zneškodňovaném odpadním proudu (např. dioxiny nebo prachové částice), odpadním produktem jsou i spaliny,
- stripování odpadních vod (parou nebo vzduchem) převádí polutanty přítomné v odpadní vodě do plynné fáze,
- VOC ze sběrného systému odpadních vod (kanalizace, vyrovnávací nádrže),
- VOC z jednotek na zpracování a čištění odpadní vody (např. odpařování VOC v jednotce biologického čištění odpadních vod),
- VOC a prachové částice unikající při skladování a zpracování tuhých reakčních produktů.

Výroba energie a pomocné materiály

- spalovací jednotky jsou běžně využívány k výrobě páry, tepla a elektrické energie (např. procesní ohřevné pece a parní kotle). Z těchto zařízení odcházejí spaliny běžného typu (obsahující např. CO, CO₂, NO_x, SO₂, prachové částice) a, pokud jsou v nich spalovány odpadní plyny nebo kapaliny, i další polutanty (např. kyselé plyny a dioxiny).

Infrastruktura

- emise těkavých látek (zejména VOC) ze zařízení (např. kompresorů a čerpadel) a těsnění (např. přírub a ventilů),
- chladicí voda znečištěná procesními proudy (např. v důsledku netěsností zařízení) procházející chladicími věžemi,
- ventilace provozních budov, jejímž cílem je především zajistit bezpečné prostředí na pracovišti. Přestože koncentrace polutantů v odváděném vzduchu jsou velmi nízké, může tento proud představovat významný zdroj úniků polutantů, protože průtoky odváděného vzduchu jsou značné.
- analyzátory a místa na odběr vzorků,
- vypouštění obsahu zařízení a jeho čištění pro vstup obsluhy do zařízení při opravách a čištění.



Jednotlivé znečišťující látky:

Těkavé organické sloučeniny (VOC)

Těkavé organické sloučeniny (VOC) představují skupinu polutantů s významným negativním vlivem na životní prostředí, protože některé z organických sloučenin mají z hlediska životního prostředí tyto nebezpečné vlastnosti: schopnost iniciovat vznik fotochemického ozonu v přízemní vrstvě (Photochemical Ozone Creation Potential - POCP); schopnost rozkládat ozon v ozonové vrstvě ve stratosféře (Ozone Depletion Potential - ODP); schopnost působit jako skleníkové plyny (Global Warming Potential GWP); mohou být toxické; mohou být karcinogenní; mohou být zdrojem obtěžujícího zápachu pro okolí výroby. Omezování úniků těkavých organických sloučenin (VOC) je jedním z nejdůležitějších úkolů výroby organických látek z hlediska ochrany životního prostředí.

Termín těkavé organické látky VOC pokrývá širokou škálu typů sloučenin a zahrnuje organické sloučeniny uvolňované v plynném stavu do ovzduší, a to jak uhlovodíky, tak jejich deriváty. Vlastnosti této skupiny látek jsou velice různorodé.

Některé z těkavých organických látek mohou mít výrazný zápach, např. aldehydy, aminy, merkaptany a další sirné sloučeniny. To vyžaduje další zpřísnění opatření na zábranu emisí (zcela uzavřené zařízení s malou možností úniku látek) a opatření na zachycování úniků.

Typickým zdrojem emisí těkavých organických sloučenin (VOC) jsou procesní odpadní plynné proudy odpouštěné do ovzduší, plynné proudy ze skladování kapalin a plynů a zdroje úniků těkavých látek. Ztráty úniky ze zařízení jsou vyšší, jsou-li surovina nebo procesní proudy plynné, ztráty VOC mohou přesáhnout 2 % celkové produkce. Bodové zdroje úniku jsou v chemických závodech systematicky sledovány, výsledkem je zjištění, že hlavním zdrojem emisí VOC jsou v mnoha závodech právě úniky těkavých látek ze součástí, jako jsou čerpadla, ventily a zásobní tanky.

V některých jednotkách odcházejí z procesu odpadní proudy obsahující významná množství těkavých organických sloučenin (např. hydroformylace, chlorace, dehydrogenace, kondenzace, oxychlorace, hydrochlorace). Protože tyto odpadní proudy mají relativně vysokou výhřevnost, je možné je likvidovat vedením do vhodného spalovacího zařízení. U jiných jednotek se uvádí, že z jejich reaktorů neodcházejí emise těkavých látek (např. aminace, fosgenace, pyrolýza, sulfurizace). V těchto výrobních však mohou unikat významná množství VOC ze sekce destilace.

Prachové částice

Zdrojem emisí mohou být tyto činnosti:

- úprava tuhých surovin,
- sušení tuhých produktů,
- regenerace katalyzátoru,
- zpracování odpadu.

Spaliny

Spaliny vznikají v primárních procesech výroby energie, v zařízeních, jako jsou procesní pece, kotle na výrobu páry, turbíny a spalovací motory, ale zdrojem jejich vzniku jsou i sekundární zdroje, např. zařízení na likvidaci polutantů a odpadů (zařízení na spalování odpadu a bezpečnostní hořáky na spalování odpadních plynů). Zatímco procesní pece jsou zpravidla součástí procesu, jednotky vyrábějící páru a elektrickou energii jsou společné pro celý komplex chemických výrob a emise z nich unikající nemohou být jednoduše přiřazeny k emisím z jednotlivých výrobních jednotek.



Spalovací jednotky jsou zdrojem emisí do ovzduší, jejichž složení je závislé na podmínkách spalovacího procesu (např. CO_2 , H_2O , NO_x , C_xH_y , CO , saze) a na složení paliva (např. SO_2 , NO_x pocházející z paliva, kovy, saze).

V sektoru průmyslu výroby organických látek je příležitostně využíváno i kapalné palivo. Běžným kapalným palivem jsou destilační zbytky tvořené vysokovroucími látkami odpadajícími z rafinérií ropy, používán je i plynový olej a topný olej. Emise při použití těchto paliv jsou závislé na koncentraci nečistot v palivu. Významným zdrojem emisí může být zejména spalování těžkých topných olejů. Součástí emisí jsou prachové částice obsahující těžké kovy (které jsou součástí popela), emise NO_x a SO_2 (jako důsledek přítomnosti sloučenin dusíku a síry v palivu). Při spalování těchto paliv se mohou tvořit saze.

Kyselé plyny

Kyselými plyny jsou zpravidla chlorovodík a fluorovodík vznikající jako vedlejší produkty při chloracích. Může však dojít i k úniku halogenačních činidel (např. chloru nebo bromu).

Dioxiny

Polychlorované dibenzodioxiny (dioxiny), polychlorované dibenzofurany (furany) a polychlorované bifenyly (PCB) mohou vznikat jako vedlejší produkty v procesech, v nichž je používán chlor. Emise těchto látek, zejména dioxinů, mohou unikat také ze zařízení na spalování odpadů, v nichž jsou zpracovávány odpady obsahující chlor spolu s odpady neobsahujícími chlor, nejsou-li dodrženy správné podmínky spalovacího procesu.

Stupně účinnosti odstranění nebo zachycení těkavých organických sloučenin (VOC) různými metodami ve výrobě organických chemikálií

Postup	Hodnoty emisí	Poznámka
Separace selektivními membránami	Stupeň zachycení 90 - >99,9 % $\text{VOC} < 20 \text{ mg/m}^3$	Přibližná oblast aplikace 1 - >10 g VOC/ m^3 Účinnost může být nepříznivě snížena např. produkty koroze, prachem nebo přiblížením teploty plynu rosnému bodu
Kondenzace	Běžná kondenzace+regenerace +přídavné zachycení 50 - 98 % Kryokondenzace zachycení 95 - 99,95 %	Přibližná oblast aplikace: průtok 100 - >100000 m^3/h , 50 - >100 g VOC/ m^3 Pro kryokondenzaci: průtok 10 - 1000 m^3/h , 200 - 1000 g VOC/ m^3
Absorpce	Zachycení 95 - 99,99 %	Přibližná oblast aplikace pro adsorpci s regenerací: průtok 100 - >100000 m^3/h , 0,01 - >10 g VOC/ m^3 , 1 - 20 atm Přibližná oblast aplikace pro adsorpci bez regenerace: průtok 10 - >1000 m^3/h , 0,01 - >1,2 g VOC/ m^3 ,
Zkrápění (skrubr)	Snížení 95 - 99,9 %	Přibližná oblast aplikace: průtok 10 - >50000 m^3/h , 0,3 - >5 g VOC/ m^3
Vysoko-teplotní spalování	Snížení 95 - 99,9 % $\text{VOC} < 1 - 20 \text{ mg/m}^3$	Přibližná oblast aplikace: průtok 1000 - >100000 m^3/h , 0,2 - >10 g VOC/ m^3 Rozsah 1 - 20 mg/m^3 je založen na emisních limitech a měřených hodnotách. Účinnost odstranění VOC spalovacích



		zařízení bez využití energie a s využitím energie může být nižší než 95 - 99 %, ale může dosáhnout <20 mg/Nm ³
Katalytická oxidace	Snížení 95 - 99 % VOC < 1 - 20 mg/m ³	Přibližná oblast aplikace: průtok 10 - >100000 m ³ /h, 0,05 - >3 g VOC/m ³
Spalování v hořáku	Vysoké hořáky >99 % Přízemní hořáky >99,5 %	

Polutant	Postup	Hodnoty emisí	Poznámka
Prachové částice	Cyklony	Snížení až o 95 %	Velký vliv má velikost částic. Lze pokládat za BAT pouze v kombinaci s jinou metodou (např. elektrostatickými odlučovači nebo tkaninovými filtry).
	Elektrostatické odlučovače	5 – 15 mg/Nm ³ Snížení 99 – 99,9 %	Založeno na údajích o použití v jiných sektorech průmyslu. Účinnost je závislá na vlastnostech částic.
	Tkaninové filtry	<5 mg/Nm ³	
	Dvoustupňový filtr	~ 1 mg/Nm ³	
	Keramický filtr	<1 mg/Nm ³	
	Absolutní filtr	<0,1 mg/Nm ³	
	Filtr HEAF	Kapičky + aerosol snížení až do 99 %	
	Aerosolový filtr	Prach + aerosol snížení až do 99 %	
Zápach	Adsorpce Biofiltr	Snížení zápachu a některých VOC 95-99 %	Přibližná oblast použití: 10000 - 200000 ou/Nm ³
Oxid siřičitý a kyselé plyny	Mokrě vápencové zkrápění	Snížení 90-97 % SO ₂ <50 mg/Nm ³	Přibližná oblast použití pro SO ₂ <1000 mg/m ³ v surovém plynu
	Zkrápěná kolona	HCl <100 mg/Nm ³ HBr <5 mg/Nm ³	
	Polosuchý způsob nastříkovaní sorbentu	SO ₂ <100 mg/Nm ³ HCl <10 mg/Nm ³ HF <1-5 mg/Nm ³	Přibližná oblast použití pro SO ₂ <1000 mg/m ³ v surovém plynu
Oxidy dusíku	SNCR	Snížení 50-80 %	
	SCR	Snížení 85 do 95 % NO _x <50 mg/m ³ , Amoniak <5 mg/Nm ³	Může být i vyšší, pokud odpadní plyn obsahuje ve vysoké koncentraci vodík
Dioxiny	Primární opatření + adsorpce (3vrstvý katalyzátor)	<0,1 ng TEQ/Nm ³	Vznik dioxinů v procesech by měl být omezen všemi prostředky
Rtuť	Adsorpce	0,05 mg/Nm ³	0,01 mg/Nm ³ bylo naměřeno v rakouském závodu při použití filtru aktivního uhlí
Amoniak a aminy	Zkrápěná kolona	<1-10 mg/Nm ³	Kyselé zkrápění
Sulfan (sirovodík)	Absorpce (alkalické prání)	1-5 mg/Nm ³	Absorpce sulfanu je 99 %. Alternativní je zkrápění etanolaminem ve spojení s výrobou síry
SNCR - selektivní nekatalytická redukce SCR selektivní katalytická redukce			



3.3.5 Dosahované emisní úrovně

Vzhledem k rozmanitosti průmyslu organické chemie nelze agregovat emisní údaje uvedené v REZZO ze všech zdrojů znečištění ovzduší.

Tato kapitola se nezabývá hlavními chemickými procesy, ve kterých dochází k chemické reakci.

Hlavní znečišťující látkou, která vzniká při jednotkových procesech v organické chemii, jsou tuhé znečišťující látky, rozpouštědla (VOC) pocházející z přečišťujících operací (destilací, apod.), a pachové látky.

Koncové technologie použitelné pro omezení TZL a VOC i jejich environmentální výkonnosti jsou popsány v kapitole 4 tohoto dokumentu.

Zásadním problémem při volbě vhodné koncové technologie k omezení TZL, případně vhodné tkaniny v případě tkaninového filtru, je možná agresivita prachů z oblasti organické chemie. Hlavním koncovým zařízením k omezení VOC je rekuperace jejich par, a znovuvyužití v procesu. Pokud toto není možné, pak se aplikuje některá destruktivní technika popsaná v kapitole 4.



3.4 6.5. Výroba a zpracování ostatních syntetických polymerů a výroba kompozitů, s výjimkou kompozitů vyjmenovaných jinde

3.4.1 Úvod

V současné době existuje na trhu plastů několik tisíc různých druhů plastů. V technické praxi však výrazné uplatnění má jen několik desítek druhů plastů. Z celkového objemu světové produkce plastů představuje skoro 80 % jen šest druhů plastů a 70 % výroby jen tři druhy, a to polyolefiny, styrenové hmoty a polyvinylchlorid. Sortiment termoplastů se neustále zvětšuje, a to v podstatě dvěma směry, kdy jednou cestou je výroba stále nových polymerů a druhou cestou je modifikace dosavadních polymerů. Toto zvyšování počtu materiálů má své výhody pro konstrukci a výrobu dílů z plastů, aniž by došlo k výrazné změně ceny, na druhé straně to klade zvýšené nároky na znalosti konstruktérů.

Zpracování plastu je odvětví zastoupené podniky všech velikostí.

Další text se vztahuje jak na velké, tak na malé podniky.

V dalším textu jsou popisovány spíše velké podniky zpracování plastů s rozsáhlou infrastrukturou, typické pro výrobu velkých plastových kompozitních výrobků, automobilní průmysl, apod.

Nicméně v tomto odvětví se nachází i malé provozy, kde může být jeden vstřikovací stroj umístěn např. v garáži (maloobjemová výroba těsnění, hmoždinek).



3.4.2 Používané techniky v plastikářském průmyslu

3.4.2.1 Příprava plastů

Synteticky připravované makromolekulární látky vznikají polyreakcí (polymerace, polykondenzace a polyadice). Jedná se v podstatě o velmi jednoduché chemické reakce, které se mnohokrát opakují, takže původní nízkomolekulární sloučenina monomer přechází ve vysokomolekulární látku zvanou *polymer*. Plastem se polymer stává poté, co ho smícháme a smísíme s nezbytnými přísadami a převedeme do formy vhodné k dalšímu technologickému zpracování, např. do formy granulí, prášků, tablet, apod. - obecný termín polymer představuje chemickou látku, zatímco plast je technický materiál, který musí mít vhodné užité vlastnosti.

3.4.2.2 Rozdělení plastů

Plasty je možno klasifikovat podle různých hledisek:

Podle aplikace a podle konstrukční složitosti vyráběných dílů, lze plasty rozdělit do následujících skupin:

- plasty **pro široké použití**, mezi které patří polyolefiny (PE, PP), polystyrénové hmoty (PS), polyvinylchlorid (PVC), fenolformaldehydové (PF) a močovinoformaldehydové hmoty (UF),
- plasty **pro inženýrské aplikace**, kam lze zařadit polyamidy (PA), polykarbonáty (PC), polyoximetylen (POM), polymethylmetakrylát (PMMA), terpolymer ABS, polyfenilénoxid (PPO), polyuretan (PU), epoxidové (EP) a polyesterové (UP) pryskyřice,
- plasty **pro špičkové aplikace**, do kterých lze zařadit polysulfon (PSU), polyfenylénsulfid (PPS), tetrafluoretylén (PTFE), polyimidy (PI) a další.

Na základě teplotního chování, podle **působení teploty** na:

- **termoplasty** - jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních newtonovských kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd.
- **reaktoplasty** - jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. *vytvrzování*. Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod.

3.4.2.3 Rozdělení technologií na zpracování plastů

Ke zpracování plastů se používá řada technologií. Použitelnost způsobu zpracování plastů je závislá jednak na technologických vlastnostech zpracovávaného plastu, jednak na tvaru a funkci výrobku, kterou má během své životnosti plnit. Podle vztahu mezi plastem vstupujícím do procesu a výsledkem tohoto procesu lze technologie rozdělit do následujících skupin:

- **tvářecí technologie** – zahrnují technologie, při kterých se tvar výchozího materiálu mění zásadním způsobem, tzn., že dochází ke značnému přemísťování částic materiálu. Tváření probíhá za působení teploty a tlaku nebo obou vlivů současně. Patří sem vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, ale i odlévání, laminování, vypěňování, apod. Výsledkem je buď výroba konečného dílu, nebo výroba polotovaru.
- **tvarovací technologie** – zahrnují technologie, u kterých se vychází z polotovaru a hmota mění tvar bez velkého přemísťování částic. Může se uplatňovat vliv zvýšené teploty i tlaku, ale také nemusí. Patří sem tvarování desek, výroba dutých těles, ohýbání trubek, obrábění plastů, spojování a spékání plastů.



- **doplňkové technologie** – slouží k úpravě vlastností hmoty před zpracováním (míchání a hnětení, sušení, granulace, předeheřev, atd.) a nebo naopak k úpravě finálních výrobků (potiskování, natírání, atd.) a také recyklace.

Je zřejmé, že se u jednoho druhu plastu při výrobě finálního výrobku můžeme setkat s technologiemi, patřícími do všech skupin. U každé technologie lze zpravidla vyčlenit tři části, které tvoří:

- příprava hmoty nebo polotovaru;
- vlastní zpracovatelský proces;
- dokončovací operace.

3.4.2.4 Přípravné zpracování plastů

Plasty obecně nelze bezprostředně zpracovávat v hotové výrobky, nejdříve musí projít technologiemi přípravného zpracování, kdy se do plastů přidávají různé přísady, nebo se odstraňují těkavé podíly, voda, apod. Dochází k ovlivnění fyzikální a chemické struktury plastů. Polymerům musí být také dán tvar pro další zpracování (granulát, prášek, kaše, atd.) Tyto technologie se potom označují jako technologie přípravného zpracování a představují mezistupeň mezi výrobou polymeru a vlastním zpracováním. Patří sem technologie *míchání a hnětení, granulace, tabletování, recyklace a sušení a doprava materiálu*.

Doprava materiálu

Doprava materiálu slouží k dodání suroviny až ke zpracovatelským zařízením. Materiál přichází z chemických závodů již připravený pro zpracování a to buď ve formě granulí (PE, PP, PS, POM, atd.), nebo prášku (plniva, saze, PVC, pigmenty, apod.), balíků (kaučuky) nebo pasty, kapalin (změkčovadla, rozpouštědla, latexy). Do výrobních závodů se pro další zpracování plastu dodává buď v pytlích, vážících 25 nebo 30 kg, nebo ve velkých pytlích o váze až 500 kg a nebo v cisternách.

Vlastní manipulace s materiálem je manuálně jednoduchá a vyprazdňování materiálu nemá vliv na kvalitu plastu. Velké zpracovatelské společnosti mají k dispozici zásobníky materiálu (sila) o objemu kolem 20 t, které se plní přímo z železničních nebo automobilových cisteren a z kterých je materiál pneumaticky dodáván buď přímo ke strojům a nebo do sušáren a odtud po provedeném sušení následně ke vstřikovacím strojům. Sila jsou vhodná pro všechny typy plastikářských provozů a pro dopravu všech typů a druhů plastů. Proti vniknutí cizích předmětů jsou na vstupu sil umístěna síta a mají zařízení s automatickým čištěním a zásobníkem pro prach. Zásobníky jsou vybaveny zařízením pro kontrolu množství materiálu a zařízením pro vyprazdňování zbytkového materiálu. Sila mají společný zdroj podtlaku a společnou řídicí jednotku. Kapalně systémy jsou k dalšímu zpracování většinou dopravovány čerpadly. Písady, které jsou používány v menších množstvích, jsou nejčastěji dodávány v pytlích.

Volba dopravního zařízení závisí na typu materiálu (granule, prášek, ...), množství dopravovaného materiálu, vertikální a horizontální vzdálenosti dopravy, dalších požadavcích na úpravu granulátu (barvení, sušení, přidávání regenerátu, apod.).

K *pneumatické* dopravě se používají buď vakuové nebo tlakové systémy, nebo jejich kombinace. Potrubí mají většinou průměr do 100 mm a jsou buď z oceli, nebo ze slitin hliníku s možným vložkováním proti opotřebení. Vakuový systém je možno použít do vzdálenosti 100 m, zatímco přetlakový systém, pracující s větším tlakem vzduchu, lze použít až do vzdálenosti 200 m. Je zde však mnohem větší opotřebení potrubí, zvýšené tření může způsobit měknutí granulí, příp. jejich drcení.

Vzrůstající spotřeba plastů vede výrobce k dopravě polymerů buď automaticky pro každý stroj zvlášť ze zásobníků u strojů nebo centrálně k jednotlivým strojům do plnicího zařízení nad násypkou. K dopravě plastu se využívá nejenom vakuových plnicích zařízení, ale i spirálových dopravníků a sacích a přetlakových zařízení na principu Venturiho trysky. Ve většině firem se upouští od ručního doplňování materiálu z pytlů a přechází se k automatickému zásobování strojů, kdy se kombinuje doprava např. se sušením nebo barvením granulátu, resp. se kombinuje originál polymeru s drtí, atd.



Sušení

Některé plasty jsou navlhavé, hyroskopické a před vlastním zpracováním se musí sušit. To znamená zbavit absorbované vlhkosti, neboť přítomnost vody se projevuje zhoršováním kvality povrchu výrobků i poklesem mechanických vlastností, zejména u plastů, u nichž voda při zvýšené teplotě způsobuje štěpení makromolekul. Se sušením, jako technologickou operací, se musí počítat v případech, kdy hmota přišla v předchozí operaci do styku s vodou, jako je tomu u suspenzí nebo emulzní polymerace anebo při granulaci hmoty, kdy vytlačovaný profil prochází vodní chladicí lázní.

Míchání a hnětení

Při výrobě polymerů polyreakcemi není míchání žádným problémem. Ve zbylých případech použití technologie míchání je založeno na smíchání základního polymeru s přísadami pro zlepšení vlastností plastu (stabilizátory, plniva, změkčovadla, barviva, atd.) nebo pro zlepšení a usnadnění zpracování (např. maziva). Míchání se aplikuje u všech stavů polymerů – u tavenin, kapalin, prášků, granulí, atd.

Míchání je proces, kdy dochází ke smíchání minimálně dvou složek v míchacím prostoru zařízení tak, aby bylo dosaženo požadované rovnoměrnosti rozložení jednotlivých komponentů ve výsledném produktu s požadovaným stupněm homogenity. Konečný stupeň homogenity nemusí být však dosažen již ve fázi míchání, ale teprve v následných technologických operacích, jako vstřikování, válcování, vytlačování, apod.

Míchací stroje

Používají se k míchání past, směsí PVC, lepidel, atd. Jsou lehčí konstrukce, která je založena na pohyblivém se nástroji – míchadlu a podle polohy osy otáčení se dělí na horizontální a vertikální. Speciální skupinu tvoří míchačky bez pohyblivých elementů.

Mezi horizontální stroje patří bubnová míchačka, která se používá pro míchání sypkých hmot.

Další horizontální míchačkou je pásová míchačka. Rotor tvoří pásy spirálově navinuté do tvaru válce, který přehrnje materiál z jedné strany na druhou a tyto míchačky slouží k míchání práškových hmot.

Mezi vertikální míchací stroje patří lopatková míchačka s lopatkovým tvarem míchadel a s velmi jednoduchou výměnou míchací nádrže. Používá se pro míchání kapalin, lepidel, past, atd. Planetová míchačka slouží k míchání viskózních hmot, je používána např. pro přípravu past, roztoků, tmelů, atd. Dvě míchací ramena s lopatkami se pohybují kolem stěn nádoby a přitom se otáčejí kolem své osy. Výhodou jsou opět jednoduché míchací nádoby, které je možné snadno měnit a také uzavřít.

Fluidační míchačka je moderním typem vysokootáčkové míchačky schopné míchat práškové hmoty, homogenizovat, barvit, apod. Rotor se otáčí obvodovou rychlostí 30 až 60 m.s⁻¹ a uvádí práškový polymer do vířivého pohybu, při kterém nárazy na rotor, stěny a mezi sebou vzniká třením teplo. Podle použité teploty vzniká pak buď suchá směs nebo hrudkovitá směs. Míchačka se plní horním víkem a výpusť je dole. Cykly jsou krátké, 5 až 10 min.

Speciální míchačky dosahují míchacího účinku rozdělováním tekoucí taveniny do několika proudů, jejich směšování a opětovným rozdělováním. Zařazují se nejčastěji před trysky (torpédo) nebo před vytlačovací hlavu.

Hnětací stroje

Tyto stroje jsou schopné tedy nejenom smísit plasty s přísadami, ale i působením intenzivního smykového namáhání převést polymer do plastického stavu. Hnětací stroje se podle způsobu práce dělí na *diskontinuální* (jsou pružnější při změně materiálu, ale kolísá kvalita v jednotlivých dávkách) a *kontinuální* (přesný produkt, ale s nutností přesného dávkování).



Kontinuální hnětiče odstraňují nedostatky diskontinuálních strojů (nízkou výkonnost, omezenou automatizaci, nestejnou homogenitu, atd.) a navíc dokáží zplastikovat i špatně sypatelné materiály, nedochází zde k přehřívání, umožňují odplyňování, jsou rychle a snadno čistitelné, atd. Konstrukce kontinuálních hnětičů vychází ze šnekových vytlačovacích strojů. Konvenční šnekové stroje však mají malý hnětací účinek a proto se používá různých úprav, aby byla hmota vystavena intenzivnímu smykovému namáhání.

Šnekový vytlačovací stroj s planetovými válci patří mezi jednošnekové hnětací stroje, kde termoplast je plastikován při průchodu mezerami mezi šnekem, symetricky uloženými válci a pevným pouzdem. Ozubení má velký úhel stoupání (45°), což umožňuje nejenom plastikaci, ale i dopravu.

Granulace

Konečným stupněm přípravného zpracování pro většinu plastů je granulace, kdy materiál získává tvar granulí, který je vhodný pro další zpracování, neboť granule mají dobrou sypnou hmotnost, lze je dobře směšovat s dalšími materiály, např. barvivy a lze je dobře dávkovat. Do tvaru granulí se často převádí i recyklát získaný mletím nebo drcením, potom mluvíme o regenerátu. Tvar granulí jsou buď válečky, čočky, krychličky nebo kuličky.

Výběr granulační metody závisí na vlastnostech zpracovávané taveniny, na prostoru, na požadovaném výkonu, na ekonomii, atd. První z možných technologií granulace je granulace z pásu. Tento způsob je nevhodný pro tvrdé materiály a je málo produktivní. Princip je založen na rozřezání materiálu na proužky, které jsou rozsekány na granule.

Výkonnější metody jsou založeny na granulaci strun a rozeznáváme buď granulaci za studena nebo granulaci za tepla. Při granulaci za studena jsou struny vytlačené granulační hlavou s mnoha otvory ochlazené ve vodní lázni a po odstranění přebytečné vody jsou sekány na granule. Nevýhodou je velké množství strun, které se mohou slepovat nebo lámat. Výkon linek je kolem 2000 kg.h⁻¹.

Při granulaci za tepla (za horka) jsou granule seřezávány přímo z čela granulační hlavy s mnoha otvory. Pro tuto metodu nejsou vhodné polymery s velmi nízkou viskozitou taveniny. Podle účinku chladicí vody na nožích rozeznáváme *granulaci suchou* a *granulaci pod vodou*. Při suché granulaci za tepla je roztavený polymer seřezáván za sucha nožovým zařízením, které se otáčí velkou rychlostí a odhazuje granule od čela hlavy, které jsou potom ochlazené ve vodní lázni a sušeny. Při granulaci pod vodou (pro polymery, které mají tendenci se roztírat) jsou odříznuté granule, ale i nože, bezprostředně chlazené vodou. Na obrázku je ukázána linka na míchání a hnětení polymerů s následnou granulací.

Tabletování

Pro zpracování reaktoplastů je z hlediska rychlého a přesného dávkování, z hlediska snížení prašnosti, z hlediska zmenšení plnicího prostoru lisovací formy, z hlediska zkrácení doby lisování a vytvrzování, z hlediska snadného předeřevu výhodné, aby prášková hmota byla slisována do pevného tvaru – tablety. Stroje používané pro tabletování jsou buď *mechanické* (nejrozšířenější) nebo *hydraulické* pro tablety větších rozměrů nebo s plnivý. Podle uspořádání jsou konstruovány buď s *výstředníkem* nebo jako *rotační* (vyšší výkon, až 200000 tablet za hodinu).

Recyklace – mletí a drcení

Nezbytným předpokladem pro technicky i ekonomicky účelné využití odpadu je dobrá znalost technologie výroby, zpracování i sortimentu výrobků. Je to hlavně do značné míry vysoká cena plastů, která vede výrobce k tomu, aby se zabývaly zpracováním odpadu z plastů a recyklací nefunkčních výrobků. V současné době existuje mnoho zařízení (mlýny, regranulační linky, podavače, manipulátory, apod.), které dokáží zpracovat odpad na recyklát, resp. regenerát za přijatelné náklady a ve vyhovující kvalitě.



Odpady, vznikající při výrobě lze rozdělit na technologický a užitný odpad. Technologické odpady, vznikající při výrobě, zahrnují v sobě vtokové systémy, vadné výrobky, odstříky, aj. a je tedy záležitostí každého výrobce, aby byly vráceny zpět do výroby jako vstupní surovina už jenom kvůli energetické náročnosti (na 1 tunu plastů se spotřebuje kolem 2,5 tuny ropy). Kromě toho existuje i užitný odpad, což jsou výrobky po skončení své funkční doby. Zatímco první skupina poskytuje relativně kvalitní materiál, srovnatelný s původními dosud nezpracovanými materiály, tak druhá skupina je obvykle znečištěna a polymer je více či méně znehodnocen stánutím.

Pro zpracování odpadů drcením (mletím) se používají různé typy mlýnů (kladivový, třecí, nožový, kulový, aj.), kdy zmenšování rozměrů lze dosáhnout tlakem, smykem nebo řezem. Pro volbu drcení jsou důležité fyzikální vlastnosti rozmělněvaného materiálu, jako je tvrdost a charakter lomu.

Při výrobě regranulovaných regenerátů se po operaci mletí nebo drcení provádí následné zpracování na hnětacích strojích nebo na jednošnekových nebo vícešnekových strojích, na které navazuje granulární jednotka.

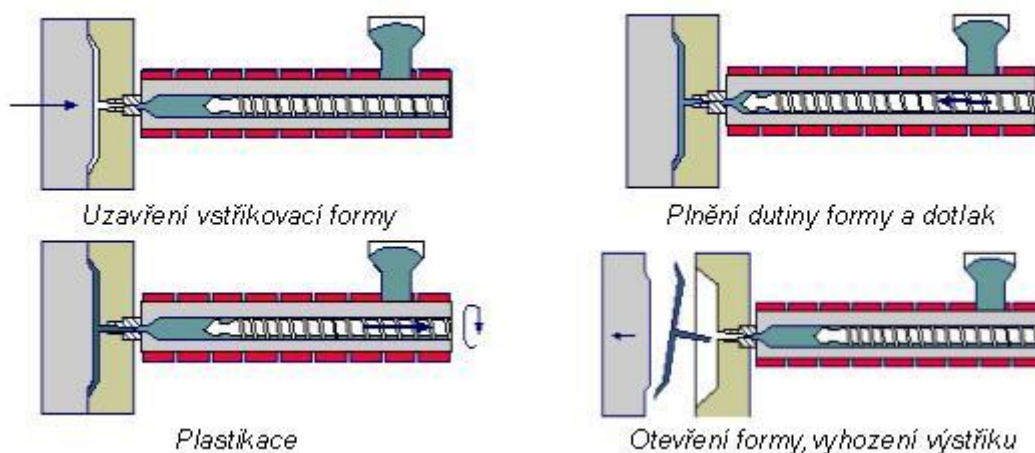
3.4.2.5 Vstřikování plastů

Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku a nebo jsou polotovary nebo díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře se vstřikují i některé reaktoplasty a kaučuky.

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem.

Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje.

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy.



Vstříkovací cyklus

Vstříkovací stroje

Vstříkovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstříkovací formy je však značně vysoká. Technologie je proto vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu.

Vstříkovací stroj se skládá ze vstříkovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace. Schéma vstříkovacího stroje se šnekovou plastikací na obrázku. Každý výrobce vstříkovacích strojů je schopen vybavit vstříkovací stroj tak, aby plnil funkci částečně nebo plně automatizovaného pracoviště, tj. dovybavit stroj manipulátory, roboty, temperačním zařízením, dávkovacím a mísícím zařízením, sušárnami, dopravníky pro výrobky a vtoky, mlýny, atd.

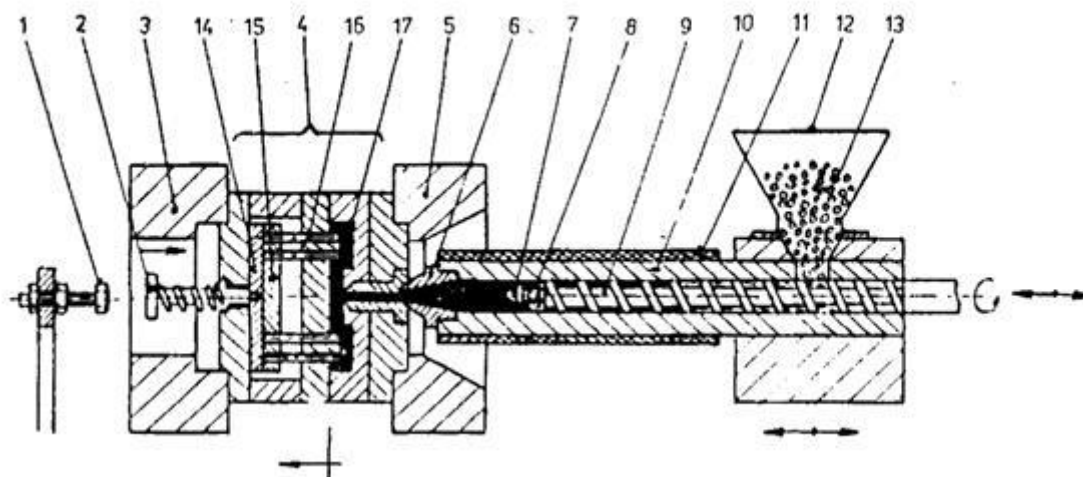


Schéma vstříkovacího stroje se šnekovou plastikací

(1 – doraz, 2 – tyč vyhazovače, 3, 5 – upínací desky, 4 – forma, 6 – vstříkovací tryska, 7 – špiče šneku, 8 – zpětný uzávěr, 9 – šnek, 10 – tavící komora, 11 – topná tělesa, 12 – násypka, 13 – granule plastu, 14 – deska vyhazovačů, 15 – kotevní deska, 16 – vyhazovače, 17 – výstřik)



Vstřikovací formy

Formy pro zpracování musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti, ale i na finanční náklady. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně, apod. Důležitým faktorem životnosti formy je provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. Dalším důležitým úkolem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a výpočet těchto rozměrů jsou rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů vylisku a opotřebení činných částí nástroje. Nejdůležitější je však smrštění zpracovávaného.

3.4.2.6 Speciální způsoby vstřikování

Kromě klasické technologie vstřikování plastů, která byla probrána v předchozí kapitole, existuje mnoho dalších způsobů vstřikování, které se řadí mezi *speciální způsoby*. Liší se např. v parametrech procesu, v konstrukci nástroje, v kombinaci materiálů, apod.

GIT – vstřikování plastů s podporou plynu

První ze speciálních technologií je *technologie vstřikování s plynem* (GIT), u které se jedná o ekvivalent vstřikování termoplastů, vyvinutý v osmdesátých letech s možností vyrábět díly s uzavřenými dutinami, které jsou vytvořeny „ničím“, kdy se do určitých míst výstřiku za účelem vytvoření dutiny přivádí plyn, většinou dusík, čímž se vytvoří vylisek o zdánlivě velkém průřezu, přičemž odpadne nutnost chladit velké množství roztavené plastické hmoty. Jako plynu je použito vysoce čistého dusíku (čistota min. 99,8 %) s možností jeho stlačování v rozsahu 10 až 30 MPa.

WIT – vstřikování plastů s podporou vody

Kromě technologie vstřikování plastů s podporou plynu (dusíku) se v dnešní době začíná prosazovat technologie vstřikování, kdy k výrobě dutých těles se nepoužívá plyn, ale voda. Mluvíme o technologii *vstřikování s podporou vody – WIT (water injection technology)*. Voda je vstřikována jednou nebo více pumpami do tekuté taveniny za účelem vytvoření dutiny. Vstřikování vody se provede tak, aby se voda neodpařovala. Tedy teplota přivedené vody musí být volena podle zpracovávaného plastu. Čelo vody pak působí na plastické jádro jako vtláčovaný píst. Účinek je navíc podpořen tím, že v oblasti (na čele) přechodu vody a taveniny ztuhne tenká plastová membrána. Nakonec může být voda vytlačena z dílce tlakovým vzduchem, nebo odsáta zpět a nebo se vylévá mimo formu a přes zásobník se vrací zpátky do oběhu. Vstřiknutí vody se musí provést dostatečně rychle, aby se zabránilo hydrolytickému rozkladu plastu. Technologické principy vstřikování vody jsou obdobné jako u vstřikování plynu.

Vstřikování sendvičů

Vývojem a zavedením *sendvičového vstřikování* bylo možno zpracovávat recyklované materiály jako jádra vstřikovaných dílů. Sendvičové vstřikování dostalo název podle struktury vyráběných dílů - vnější stěny jsou z jednoho (prvního) materiálu a představují „slupku“, zatímco vnitřek dílu se skládá z druhého materiálu a představuje jádro. Tato struktura se vytváří v důsledku procesů proudění, při kterých se využívá laminárního proudění taveniny v dutině formy (technologie pomalého laminárního toku). Povrchová vrstva materiálu po prvním vstřiku se po ochlazení dotykem se stěnou formy již neposunuje a tím je vlastně uzavřen materiál jádra do materiálu povrchu. Plasty jsou však ještě dostatečně plastické na to, aby došlo ke spojení.



Vícekomponentní nebo vícebarevné vstřikování

Technologie *vícekomponentního* nebo *vícebarevného vstřikování* umožňují na jednom výlisku kombinovat buď dva nebo více materiálů nebo dvě nebo více barev od jednoho druhu plastu. Tato technologie se rozvíjela postupně nejdříve od vstřikování více barev až po dnešní vstřikování dvou nebo více druhů polymerů, a to i nemísitelných. V případě nedostatečné adheze se musí provést úprava geometrie dílu tak, aby došlo „k zastříknutí“ spojovaných částí (závisí to na geometrii dílů). U těchto technologií nepřijímá funkci dotlaku plyn, voda nebo vnitřní materiál, ale dotlak je shodný s klasickou technologií vstřikování. Technologie vícekomponentního vstřikování se liší od klasického vstřikování pouze tím, že ke vstřikovací formě jsou připojeny dvě (dvoukomponentní vstřikování) nebo tři (tříkomponentní vstřikování) resp. čtyři (čtyřkomponentní vstřikování) vstřikovací jednotky.

Intervalové vstřikování

Zvláštním případem vícebarevného vstřikování je *intervalové vstřikování*, které je založeno na míchání dvou barevných odstínů ve speciální míchací trysce před vstřikem do dutiny nástroje. Na rozdíl od dvoukomponentního vstřikování zde nejsou jasné hranice mezi oběma odstíny, ale je docíleno smíchání dvou barev podle předchozích návrhů. Vstřikovací jednotky zde neústí přímo do vstřikovací formy, jako tomu bylo u vícebarevného vstřikování, ale přímo do míchací trysky. Vstřikovací jednotky jsou spárovány dohromady pomocí speciální intervalové jednotky, uvnitř které je umístěna speciální míchací tryska (stroje bez intervalové jednotky jsou potom používány pro dvoubarevné vstřikování). Zbarvení (promíchání barev) je ovlivněno nastaveným sekvenčním cyklem, tvarem vstřikovaného dílu, umístěním vtokového systému a tokovými vlastnostmi vstřikovaného materiálu.

Mramorové vstřikování

Mramorování je výroba multikomponentních nebo multibarevných výrobků nehomogenním mísením polymerů. Namísto klasické šnekové plastikace je zde použit speciální hnětací člen, který má částečně tvar pístu, částečně tvar šneku. Plastikace je dosaženo postupným posouváním materiálu vpřed v tavící komoře bez intenzivního promíchání. Kvůli nehomogenitě jednotlivých tavenin se na výrobku objevují různě intenzivní barevné oblasti. Nejčastěji se používá více barev od jednoho druhu polymeru.

Vstřikování vláken plněných termoplastů

Termoplasty, plněné minerálními plnivými (krátkými nebo dlouhými vlákny), mají díky netavitelnému podílu anorganického materiálu v plastickém stavu větší vnitřní tření taveniny, než neplněné plasty. Ke vstřikování jsou nezbytné teploty nejméně o 10°C vyšší. Rovněž tlaky, teplota formy a rychlost vstřikování jsou doporučovány vyšší, neboť taveniny plněných termoplastů rychle tuhnou a nedoporučuje se vyrábět díly s tloušťkou menší, než 2 mm. Délky šneků se doporučují v poměru 26 D.

V současné době se začínají prosazovat plněné plasty dlouhými vlákny (10 až 12 mm), což výrazně zvyšuje tuhost vyráběných dílů a s tím spojené i ostatní výhody, které přináší delší vlákna. Při zpracování (šnekování, plastikaci) sice dochází k rozlámání granulí, ale i přes tento nedostatek jsou výsledná vlákna mnohem delší, nežli u materiálu s krátkými vlákny (zhruba desetkrát). Plastikace se musí provádět velmi šetrně speciálně provedeným šnekem, který se může otáčet oběma směry.

Výrobky, které byly získány touto technologií, mají zvýšenou tuhost, vysokou rázovou houževnatost, výbornou rozměrovou stabilitu a tyto vlastnosti si podržují i při extrémních teplotách.

Vstřikování reaktoplastů

Kromě *vstřikování* termoplastů se mohou vstřikovat i reaktoplasty. V současné době se zpracovává asi 30 % *reaktoplastů* vstřikováním. Vstřikováním lze prakticky zpracovávat veškeré druhy reaktoplastů. Oproti lisování reaktoplastů má vstřikování tyto výhody: předehřev hmoty, dávkování, plastikace a



vstřikování se uskutečňuje v jedné jednotce, proces lze automatizovat, použití mnohem kratších vytvrzovacích časů, není zde technologický odpad.

Vstřikování plastů s prášky

Vstřikování plastů s prášky - *PIM (powder injection moulding)* na bázi kovů, skla nebo keramiky, apod. se používá k výrobě vysoce přesných dílů s výbornou kvalitou povrchu, kdy polymer se používá pouze jako nosné pojivo - „lepidlo“ v prvních fázích vstřikovacího procesu. Touto technologií se vyrábějí díly pro automobilový a textilní průmysl, elektrotechniku, zdravotnictví, apod.

Základním materiálem (plnivem) pro technologii vstřikování plastů s prášky jsou tvrdé kovy, oceli, karbidy křemíku, oxidy hliníku, porcelán, ale i měď, atd. Tyto prášky se musí smíchat s plastem – pojivem, což je první fáze výroby daného dílu, která končí spékáním.

Reakční vstřikování

Reakční vstřikování – RIM (reaction injection moulding) spočívá ve vstříknutí kapalné směsi (monomerní stádium) do uzavřené dutiny formy, kde proběhne polymerace materiálu (exotermická reakce a expanze) s vytvrzením složek. Reakční vstřikování je výrazně odlišné od klasické technologie vstřikování, protože reakční směsi (např. isokyanát a polyol) jsou nízkoviskózní hmoty.

Hlavním materiálem, který se používá pro reakční vstřikování, je polyuretan (PUR), ale např. i polyamid nebo různé směsi PUR, protože jejich vysokoteplotní vlastnosti jsou lepší, než vlastnosti samotného PUR. PA byl používán i v minulosti a v současné době byly vyvinuty nové postupy zpracování PA. Rovněž se dají použít složení na bázi epoxidů.

Vstřikování s dolisováním, kompresní vstřikování

Vstřikování s dolisováním – *CIM (compress injection moulding)* je technologie, u které je tavenina vstřikována do pootevřené vstřikovací formy a následně je materiál dotvarován, dotlačen, vyvozením programově řízené uzavírací síly. V první fázi proces začíná otevřením formy do předem stanovené pozice. Ve druhé fázi probíhá vlastní vstřikování a potom následuje po naplnění formy stanoveným objemem dotlaková fáze, a to vyvozením plné uzavírací síly. Uzavírací systém přejímá funkci dotlaku. Tato technologie má poměrně dost alternativ a používá se např. k výrobě CD nebo DVD. Technologie vstřikování s dolisováním umožňuje dosáhnout vysokých přesností rozměrů, nízkých hodnot smrštění, deformací a vnitřních pnutí, protože tlak působí přímo na materiál a to v celém objemu najednou.

Tandémové vstřikování

Princip *tandémového vstřikování* spočívá v tom, že ve vstřikovací formě jsou dvě protilehlé dutiny s výrobky, které jsou v přesně stanovených cyklech plněny, dotlačovány a chlazeny, stejně jako u klasického vstřikování, ale pomocí samostatných vstřikovacích jednotek. Princip je tedy založen na tom, že zatímco v jedné dutině probíhá proces otevření, vyhození výrobku a zavření formy, plnění a dotlaku, tak ve druhé dutině probíhá proces chlazení. Vstřikovat můžeme výrobky stejného objemu, ale i objemu rozdílného.

Vstřikování taveninou o vysokém tlaku

Tento proces vstřikování je založený na *vstřikování* taveniny, která je pod *vysokým tlakem*, do uzavřené dutiny formy. V první fázi je tryska stroje, která je vybavena pneumatickou jehlou, uzavřena a plastikační jednotka stroje plastikuje materiál stejně, jako u konvenčního vstřikování. Ve druhé fázi, po skončené plastikaci, je tavenina stlačována mezi uzavřenou tryskou a čelem šneku pohybem šneku vpřed do dosažení předem stanovené pozice. Kompresní tlak je v závislosti na výrobku v rozsahu 100 až 250 MPa, nastává zmenšení objemu. Tavenina je udržována pod vysokým tlakem i z hlediska dosažení teplotní



homogenity. Ve třetí fázi je tryska otevřena, tavenina relaxuje a zvětšuje svůj objem, tedy dochází k plnění dutiny formy. Působením dotlaku dochází k redukci smrštění.

Vstřikování strukturních pěn

Výrobky ze *strukturních pěn* mají kompaktní povrchovou vrstvu a napěněné jádro. Plasty pro výrobu strukturních pěn jsou nadouvány přidavkem 0,7 až 3 % chemického nadouvadla nebo fyzikálně přidavkem uhlovodíků a výrobky jsou ve fázi plnění dutiny formy asi o 10 % vypěněny. Plasty, používané pro strukturní pěny, jsou ABS, PA, PEI, LDPE, HDPE, PPE, PPO, PC, PP, PS, PBT. Objemem přidaného nadouvadla lze získat buď lehký nebo těžký výstřik. Kromě toho se vylepšila tato technologie tak, že dle nového způsobu se při použití vhodné konstrukce formy vstřikuje tvrdá pěna do měkké pěny, čímž se dosáhne různého složení na místech, kde je to potřeba.

Střídavé, cyklické vstřikování

Vysoké požadavky na kvalitu plastových dílů vedou k použití *střídavého vstřikování* - *MLFM (multi live feed injection moulding)*, které se používá hlavně u materiálů plněných vyztužujícím (ale i nevyztužujícím) plnivem, u blendů, atd. Tato technologie snižuje počet vad na výrobku, zvyšuje pevnost u vyztužených plastů, snižuje vnitřní pnutí a efekt studených spojů.

Nízkotlaké vstřikování

Nízkotlaké vstřikování je alternativou klasického vysokotlakého vstřikování. Nízký tlak je jak na straně vstřiku, tak i na straně uzavírací jednotky. Výhodou je snížení velikosti stroje, nízké napětí a vnitřní pnutí ve výrobku, dostatečná velikost dílů, nízká cena nástroje. S výhodou se používá vícepolohových strojů s několika samostatnými nástroji, které se otáčejí k jednotlivým pozicím. Každý nástroj má vlastní uzavírací systém. Použití je vhodné pro delší vstřikovací cykly.

Technologie zastříkávání, hybridní technologie

Principem *hybridních technologií (in-mould technology)* je ta skutečnost, že tavenina plastu je nastříknuta na jiný materiál (kov, textilie, aj.) a dojde ke spojení těchto dvou materiálů a ke vzniku jednoho výrobku s lepšími vlastnostmi. Zároveň dojde k úspoře hmotnosti materiálu plastu, ke zlepšení korozní odolnosti, vzhledu, apod. Technologie je založena na vkládání různých materiálů ve formě polotovaru nebo předtvarovaného dílu do dělicí roviny vstřikovací formy pro zlepšení vzhledových vlastností výrobku nebo pro výrobu dílů s vysokou kvalitou povrchu.

3.4.2.7 Vytlačování

Vytlačování je technologická operace, při které je tavenina plastu kontinuálně vytlačována přes profilovací zařízení (vytlačovací hlavu) do volného prostoru. Technologie vytlačování slouží k výrobě buď konečných tvarů nebo k výrobě polotovarů. Podle tvaru konečného výrobku nebo tvaru polotovaru se technologie vytlačování mohou rozdělit do tří základních skupin:

- výroba trubek a profilů,
- výroba fólií a desek,
- ostatní způsoby (oplášťování, výroba vláken a povlaků, atd.).

Tyto technologické způsoby využívají hlavně šnekové vytlačovací stroje, které však nepracují samostatně, ale jsou součástí výrobních linek, kde ostatní stroje a zařízení zajišťují odtah, kalibraci, doplňkovou úpravu tvaru nebo povrchu, apod.



Vytlačování trubek a profilů

Linka na vytlačování uzavřených i otevřených profilů a trubek se skládá ze šnekového vytlačovacího stroje, vytlačovací hlavy a ze zařízení měřicího, kalibračního, chladicího, odtahovacího, dělicího a navíjecího resp. odkládacího. Běžně se používají jednošnekové vytlačovací stroje, neměkčený PVC se vytlačuje na dvoušnekovém vytlačovacím stroji. K výrobě trubek se obvykle používá PVC, HDPE a LDPE, méně PP a PA. Profily se vyrábějí z PVC, PS a jejich kopolymerů, PMMA, PC, POM, apod.

Výroba fólií a desek vytlačováním

Desky jsou plošné útvary s tloušťkou větší, než jeden milimetr, tenčí jsou fólie. Pro desky a fólie se k vytlačování používají širokoštěbinové hlavy, pro výrobu fólií vyfukováním se používají tzv. vyfukovací hlavy (příčné). Výrobky jsou buď konečné produkty nebo polotovary a mohou se vyrábět i jako vícevrstvé. Fólie se vyrábějí vytlačováním z PP, HDPE, PC, PA a PVC. Desky se vyrábějí z PE, PP, ABS, PVC, PMMA.

Speciální způsoby vytlačování

V této kapitole budou uvedeny ostatní vybrané technologické způsoby vytlačování, jako je výroba vláken, opláštění, granulace, apod.

Výroba pásků a vláken z fólií

Pro výrobu vláken z HDPE, ale především z PP, se používá následující technologický postup, využívající monoaxiálně orientované fólie. Z vyfouknuté fólie nebo z fólie vytlačované širokoštěbinovou hlavou jsou na řezacím stroji nařezány pásy, které se temperují a orientují v dlouhícím zařízení. Takto orientované pásy se mechanicky štěpí na vlákna. Rozvlákňování je snazší pro profilované pásy, pro hladké pásy je vhodné použít válec s jehly.

Výroba vláken vytlačováním

Linky na výrobu vláken vytlačováním jsou rozdílně sestavovány, a to především podle typu zpracovávaného materiálu. Tímto způsobem se vyrábějí silná vlákna z taveniny PP, HDPE, PA, PBT, PET, PMMA, apod. Vytlačovací stroj je osazený vytlačovací hlavou na vlákna. Z ní se vlákna vytlačují do chladicí lázně, za kterou následuje první odtahovací zařízení. Potom vlákna vstupují do temperační jednotky, kde se temperují na teplotu vhodnou k jejich orientaci (dloužení) mezi válci orientačního zařízení. Těchto temperačních a dlouhících jednotek může být do linky zařazeno i několik.

Opláštění vytlačováním

Uspořádání linky na opláštění se řeší s ohledem na druh zpracovávaného materiálu a typ oplášťovaného předmětu. Většinou se opláštějí vodiče a kabely, ale i ocelové trubky pro rozvody plynu, kovová nebo polyamidová lanka jako prádelní šňůry nebo struny do žacích strojů. Schéma linky na opláštění vodičů termoplastickou izolací je na obrázku. Vodič je z cívky odvíjen přes vodicí kladky do přehřívacího zařízení. Nahřátý vodič vstupuje do příčné oplášťovací hlavy. Vzniklý plášť se kalibruje, ochlazuje v chladicí vaně, měří a kontroluje se soustřednost pláště, průměr a jeho izolační vlastnosti. Oplášťovaný vodič je odtahován synchronizovanými odtahovacími válci a přes vodicí kladky je navíjen na cívku v navíjecím ústrojí. Při opláštění trubek PE a PP se do linky zařazuje před přehřev ústrojí, které povrch trubky očistí a odmastí a opatří jej vrstvou adheziva. Dále se do linky obvykle zařazují značící přístroje.



Tvorba povlaků vytlačováním

Kromě opláštění drátů a vodičů lze nanášet povlaky z plastů i na rozličné materiály, jako např. kovové fólie, textilie, jiné plastové fólie, papír, apod. Stejně jako u vytlačování fólií nebo vícevrstvých fólií i tady se využívá současného vytlačování (koextruze) taveniny plastu (nejčastěji PE) na povrch nosného materiálu, který má být povlakován. Následně je vytlačená tavenina plastu slisována s nosným materiálem mezi chlazeným bubnem a přítlačným pryžovým válcem. Předehřátý nosný materiál je ve styku s přítlačným válcem, zatímco tavenina plastu je chlazená na povrchu leštícího válce.

Stroje pro vytlačování

Pro vytlačování se používají stroje různé konstrukce, kdy se mění pracovní člen v tavicí komoře. Potom rozeznáváme stroje pístové, šnekové a diskové. Požadavky na vytlačovací stroj jsou následující: vysoký vytlačovací výkon úměrný otáčkám šneku a co nejméně závislý na protitlaku, rovnoměrná doprava taveniny bez pulzací, vytlačování taveniny bez orientace, homogenní zamíchání polymeru se všemi případnými aditivami bez těkavých podílů, místně a časově rovnoměrná teplota taveniny, která je optimální z hlediska výkonu stroje, zpracovávaného polymeru a kvality vytlačovaného výrobku.

Vytlačovací stroje se také dělí na *rychloběžné* a *pomaloběžné*. Zatímco u rychloběžných strojů v důsledku vysokých otáček šneku (250 až 1500 min⁻¹) stačí vytápět pouze na začátku, neboť vzniklé teplo třením stačí k roztavení materiálu, u pomaloběžných strojů musí být ohřev tavicí komory neustálý. Rychloběžné stroje mají krátké šneky s délkou 10 až 17 D.

Šnekové vytlačovací stroje

Ve vstupní části se musí většinou granulovaný nebo aglomerovaný polymer zachytit, předehřát a za odplynění stlačit. V kompresní části je polymer dále stlačován, plastikován a homogenizován s případnými přísadami. Ve výstupní části je již ve formě tepelně i materiálově homogenní taveniny pod tlakem kontinuálně vytlačován do „nástroje“ – vytlačovací hlavy. Ke zpracování plastů se používají především jednošnekové vytlačovací stroje, ale pro různé aplikace se konstruuje i dvoušnekové vytlačovací stroje, stroje na kaučuky, apod.

Pístové vytlačovací stroje

Vytlačovací stroje pístové mají jako hlavní funkční část píst. Pohon pístu bývá hydraulický nebo mechanický. Pracovní část je tvořena válcem s pístem a vytlačovací hlavou. Materiál pro vytlačování se vkládá do pracovního válce. Velikost pístového vytlačovacího stroje je určena maximální vytlačovací silou, průměrem pracovního válce a zdvihem pracovního pístu. Pístové vytlačovací stroje se nejčastěji používají k vytlačování materiálů citlivých na teplotu, jako je např. PF nebo materiálů se špatnými tokovými vlastnostmi, jako je např. PTFE. Vytlačovaný materiál není namáhán vysokým smykovým zatížením a lze takto vyrábět profily v poměrně úzkých výrobních tolerancích. Nevýhodou pístových vytlačovacích strojů je jejich cyklický výrobní proces.

Diskové a spirálové vytlačovací stroje

Vytlačovací stroje diskové jsou založeny na tzv. Weissenbergově efektu, který je podmíněn visko-elastickými vlastnostmi zpracovávaného materiálu. Výkon diskového vytlačovacího stroje závisí na průměru a tvaru disku, smykové rychlosti a druhu zpracovávaného polymeru. Konstrukčně jsou diskové vytlačovací stroje velmi jednoduché. Disk vytváří proti čelní desce šterbinu, do které přes chlazenou násypku vstupuje materiál a účinkem elastických napětí se dopravuje v radiálním směru k hubici. Potřebné teplo k tavení vzniká v důsledku smykového namáhání materiálu ve šterbině a také je dodáváno topnými tělesy. Nevýhodou takto řešeného diskového vytlačovacího stroje jsou nízké vytlačovací tlaky, které lze v určitém rozsahu ovlivňovat změnou otáček disku nebo nastavením velikosti šterbiny. Výhodami diskových vytlačovacích strojů je, že dosahují rychlé plastikace polymeru při vysoké homogenitě taveniny, mohou zpracovávat práškové i granulované materiály, tavenina se dá snadno odplynit a plastikační



proces lze snadno ovládat. Vytlačovací stroje *spirálové* tvoří přechod mezi stroji diskovými a šnekovými. Rozdíl spočívá v tom, že pohyb materiálu nastává v kanálku, který má tvar spirály, vlivem účinku rychlostních složek a ne účinkem visko-elastických vlastností plastu.

3.4.2.8 Vyfukování, výroba dutých těles

Vyfukováním se rozumí takový postup, při kterém je polotovar (předlisek) tvarován ve vyfukovací formě přetlakem vzduchu do tvaru více méně uzavřeného tělesa. Materiál se musí zahřát do plastického stavu, kdy hmota vykazuje potřebnou tvarovatelnost, ale přitom si ještě udržuje dostatečnou soudržnost. Polotovarem může být předlisek vyráběný vstřikováním, vytlačováním nebo i fólie. Vyfukováním se zpracovávají hlavně PE a PP (asi ¾ produkce), PVC a jeho kopolymery a v poslední době PET. V malé míře jsou zastoupeny další termoplasty, jako např. POM, PC, kopolymery PS a jiné.

Rozdíly mezi nejrozšířenějšími technologiemi – vstřikováním a vytlačováním jsou následující:

Parametry nástroje		vstřikování	vyfukování
Plast	Tlak	vysoký	nízký
	Teplota	vysoká	nízká
	Uzavírací síla	vysoká	nízká
	Molekulová hmotnost	nízká	vysoká
Výrobek	MFI	vysoký	nízký
	Namáhání nástroje	vysoké	nízké
	Smrštění	vysoké	nízké
	Lesk povrchu	vysoký	nízký
Nástroj	Přesnost rozměrů	vysoká	nízká
	Cena	vysoká	nízká
	Doba	dlouhá	krátká
Typ výrobku		precizní	funkční

Vstřikovací vyfukování (předlisek vyráběný vstřikováním)

Vstřikovací vyfukování se používá k výrobě dutých těles menších rozměrů a s velmi členitým tvarem. Postup je následující: ve vstřikovací formě se nastříkne na speciálně upravený, obvykle ocelový, trn v dutině vstřikovací formy tavenina vhodného plastu. Tím je vytvořen polotovar a to včetně dna a kompletního hrdla, např. se závity budoucí láhve. Dále se postup liší podle toho, zda je výlisek tvářen ihned nebo je proces vyfukování zcela oddělen. V prvním případě se ihned po nastříknutí plastu, dokud je hmota ještě v plastickém stavu, trn přenese do formy nebo se naopak forma přisune k předlisku po odsunutí vstřikovací formy. Následuje vyfouknutí stlačeným vzduchem do tvaru tvarové dutiny formy, ochlazení a ztuhnutí plastu, otevření nástroje a vyhození (sejmutí) z trnu stlačeným vzduchem a celý cyklus se opakuje. Tento postup má výhody v tom, že pokud se používá živý vtok, tak neexistuje technologický odpad, hrdlo se závitem i dno mají vysokou kvalitu, neboť neobsahují svar; lze vyrábět předlisky s proměnnou tloušťkou stěny a tak dosáhnout u odstupňovaných výrobků rovnoměrnou tloušťku stěny, lepší vzhled, tuhost a biaxiální orientace zlepšuje mechanické vlastnosti a snižuje propustnost pro plyny. Nevýhodou je potřeba dvou forem, složitě výrobní zařízení a plast musí být vhodný jak pro vyfukování, tak i pro vstřikování. Velikost výrobků je omezena velikostí předlisku. Ve druhém případě lze proces oddělit. Vstřikováním se vyrobí předlisky, normálně se ochladí a v druhé formě se potom opět ohřejí do plastického stavu a vyfouknou. Oblast hrdla se závitem se nezahřívá.

Vytlačovací vyfukování (předlisek vyráběný vytlačováním)

Je to nejrozšířenější způsob výroby dutých těles. Na vytlačovacím stroji s příčnou nebo příčnou vytlačovací hlavou se vytlačí polotovar – *parizon*. Tato trubka, schopná plastického přetvoření, se



odstřihne v okamžiku, jakmile dosáhne požadované délky. Střížné nůžky jej buď podrží do okamžiku, dokud nepřijede vyfukovací forma nebo jej přenesou do formy, kde je nasazen na trn. Zavřením formy dojde k vyfukování hrdla a vnitřního průměru a ke svaření dna. Následně se přivede stlačený vzduch a dojde k vyfouknutí. Po ochlazení a ztuhnutí se výrobek sfoukne a odstraní se přetoky od svarových ploch. Kromě možnosti používání vyfukovacího trnu se v omezené míře používá i vyfukovací jehla, která se zapíchne do parizonu. Tato část se později odstraní. Nevýhodou vytlačovacího vyfukování je malá přesnost výrobků a poměrně velký odpad, vznik svaru. Výhodou je ekonomie provozu a možnost vyrábět výrobky o mnohem větším objemu.

Vyfukování s dloužením

Tato technologie využívá výhody, které byly popsány při orientaci fólií. *Dloužením* lze zvýšit průhlednost, pevnost, houževnatost a snížit propustnost pro plyny a páry. Princip výroby spočívá v tom, že předlisek (ať už vstřikovaný nebo vytlačovaný) je před vyfouknutím temperován na vhodnou teplotu v kaučukovité oblasti (pro PP 150 až 155 °C, pro PET 90 až 95 °C, atd.), poté je nadloužen (naorientován) a vyfouknut. Tato technologie slouží především pro výrobu lahví o malých objemech.

Stroje a zařízení pro výrobu dutých těles

Požadavky na strojní zařízení jsou následující: regulovatelná teplota komory a co nejmenší kolísání teploty taveniny, vytlačovací hlava musí umožňovat správné nastavení tloušťky, snadná výměna hubice, šnek musí pracovat bez pulsací, aby nebyly v parizonu bubliny a byl konstantní průřez a zavírací mechanismus musí umožňovat co nejjednodušší výměnu forem a nesmí pootevřít nástroj během vyfukování. Zařízení pro vyfukování dutých těles se skládá ze *šnekového vytlačovacího stroje* (většinou horizontálního) vybaveného příčnou vytlačovací hlavou s kruhovou hubicí a z *vyfukovací jednotky*, sestávající ze zavíracího (mechanické způsoby uzavírání – klika, zuby, hřeben, páka, klíny, hydraulický způsob uzavírání) a vyfukovacího mechanismu včetně formy.

Stroje pro vyfukování se dělí na stroje se zásobníkem (přerušovaný provoz - poloautomatický) a stroje bez zásobníku (automatický provoz). Podle pohybu formy se vyfukovací stroje dělí na stroje s vertikálním pohybem nebo horizontálním pohybem se statickou nebo pohyblivou formou pro oba směry. Pro vytlačování plastů s malou teplotní stabilitou, např. PVC, je výhodnější vertikální stroj, který je ukončen přímkou hlavou, kde jsou poměry pro tečení příznivější. Šneky mívají jen krátkou dopravní a kompresní část, ale dlouhou část hnětací. Celková délka šneku je 15 až 20 D. Plastická kapacita vytlačovacího stroje musí být v souladu s kapacitou vyfukovací jednotky. Množství vytlačeného plastu závisí na konstrukci stroje, geometrii šneku, plastu a technologických podmínkách.

U moderních strojů je možné měnit tloušťku stěny parizonu v závislosti na jeho délce – duté těleso nepravidelného tvaru nebo těleso s proměnnou tloušťkou stěny. Tu lze měnit buď axiálním pohybem trnu v hubici nebo naopak pohybem hubice při konstantní poloze trnu, což je řízeno mikroprocesorem. Další možností je přitlačování prstenců v hubici na parizon a tím změna tloušťky. Při nastavování rozměru parizonu se musí pamatovat na to, že tavenina plastu vlivem stlačitelnosti zvětšuje svůj objem, což se projeví zvětšením objemu i tloušťky. To závisí na technologických podmínkách – teplotě a tlaku. Zvětšení rozměrů dosahuje až několika desítek procent.

Nástroje pro vyfukování

Vyfukovací *formy* je možné podle velikosti výrobku a použitého materiálu a zařízení konstruovat jako jednonásobné nebo vícenásobné. Formy pro menší výrobky jsou dvoudílné a pro větší výrobky mají tvarové díly složeny z více částí. Příklad vyfukovací formy je na obrázku. Protože z celkové doby pracovního cyklu představuje doba chlazení nejdelší úsek (uvnitř výrobku není dobrý vodič tepla),



chlazení je provedeno buď cirkulující vodou, nebo pomocí vnitřního chlazení vodní mlhou, kapalným dusíkem, CO₂, apod.

Odvzdušnění forem je nutné kvůli malým vyfukovacím tlakům a dělá se proto, aby nedocházelo k vadám – nedotvarování tvaru, matný lesk, nepravidelné důlky, apod. Ve většině případů stačí k odvzdušnění netěsnosti v dělicí rovině. Pro lepší odvzdušnění se do vyfukovací formy umísťují odvzdušňovací štěrby nebo odvzdušňovací válcové vložky se sraženou hranou nebo šestihranem.

Samostatnou část v konstrukci vyfukovacích forem představují svařovací plochy (hrany), které vytvářejí svary u dna a hrdla dutých výrobků. Vzniklý svar musí být dostatečně pevný. Dosahuje se toho tak, že se vhodně upravuje úhel a tvar svařovací částí formy. Velký úhel a široká plocha nedávají dobré svary. Vhodný úhel způsobuje, že se část hmoty vtlačuje zpět do formy – dochází k zesílení a ke zvýšení plochy pro zatížení.

3.4.2.9 Tvarování termoplastů

Tvarování je výrobní postup, u kterého polotovar ve tvaru desky nebo fólie mění svůj tvar bez většího přemísťování částic hmoty. Většinou se provádí za tepla, jen ve výjimečných případech je možné některé plasty tvarovat bez ohřevu, ale vždy se jedná o výrobky jednoduchých tvarů a bez velkých nároků zejména na rozměrovou přesnost. Tvarováním desek za tepla se vyrábějí různé kryty, nádoby, kufrý, apod. Velký význam má tato technologie v obalové technice. Tvarováním za tepla lze zpracovávat pouze termoplasty. Tvarováním lze zpracovávat desky téměř ze všech termoplastů, nejčastější jsou však ze styrenových plastů, např. hPS a ABS, dále z PVC a jeho kopolymerů, PMMA, PC, PET, PE a PP. K tvarování se obvykle používají jednovrstvé desky vyrobené z jednoho druhu plastu vytlačováním na šnekových vytlačovacích strojích. Při stejných nebo velmi blízkých podmínkách se tvarují i desky vícevrstvé. Z hlediska tvarovacího procesu jsou jednovrstvé desky příhodnější, neboť desky z více druhů plastů kladou na technologii větší nároky.

Mechanické tvarování

U mechanického tvarování se změny tvaru polotovaru dosahuje vzájemným působením jednotlivých částí dvoudílné formy na tvarovaný materiál. Způsob umožňuje používat vyšší tvarovací tlaky, než u ostatních způsobů, případně kombinovat tvarování s přímým oddělením výrobku od zbytku polotovaru.

Pneumatické tvarování

V praxi je v současné době nerozšířenější podtlakové tvarování, u něhož k dosažení změny tvaru polotovaru postačuje rozdíl atmosférického tlaku a vakua vytvořeného v dutině formy vývěvou. Tvarovací tlak je tedy roven maximálně několika desítkám kPa. U přetlakového způsobu se síla k tvarování vyvozuje působením tlakového média, obvykle stlačeného vzduchu, jehož tlak bývá v rozmezí asi od 0,2 do 1 MPa. Často se přetlakový způsob kombinuje s podtlakovým. Nízké tlaky umožňují používat formy z málo pevných materiálů.

Negativní tvarování

Základem je tvarovací forma s dutinou, která svým tvarem odpovídá žádanému výrobku. Rozměry dutiny musí ovšem být zvětšeny o smrštění hmoty, podobně jako tomu je u jiných technologiích. Deska určená k tvarování se upne do rámu a neprodyšně se spojí s formou. Potom se nad desku přisune ohřívací zařízení a po dosažení tvarovací teploty, což se kontroluje dobou ohřevu, se topení odsune a bezprostředně se rychle z dutiny formy odsaje vzduch. Vytvořeným vakuem se plast přitiskne na vnitřní stěnu dutiny formy a přesně přijme její tvar. Po ochlazení výtažku se vakuum zruší a výrobek se z formy vyjme buď ručně nebo se uvolní stlačeným vzduchem, který se přivádí do formy odsávacími kanálky.



Pozitivní tvarování

Jednoduchý *pozitivní* způsob *tvarování* umožňuje dosáhnout rovnoměrnou tloušťku stěny i při hloubce tažení dané poměrem $H / D = 1$. Základem je pozitivní tvarovací forma – tvárník, odpovídající svým tvarem výrobku. Deska se upne do rámu a ohřeje se na tvarovací teplotu. Po odsunutí ohřívacího zařízení se forma pohybem vzhůru vtlačí do desky nebo se rám s deskou přetáhne přes nepohyblivou formu. V této fázi vlastně dochází k mechanickému předtvarování desky.

Mechanické předtvarování

Snaha dosáhnout co nejrovnoměrnější tloušťky stěny výtažků vedla k vývoji celé řady kombinovaných způsobů tvarování. Modifikací jednoduchého negativního tvarování je negativní tvarování s mechanickým předtvarováním. Ve své podstatě se jedná o kombinaci způsobu negativního a pozitivního. Z postupu je zřejmé, že od jednoduchého tvarování se liší tím, že se deska po skončení ohřevu nejprve předtvaruje pomocným tvárníkem, který desku vtlačuje směrem do dutiny formy.

Pneumatické předtvarování

U pozitivního způsobu s pneumatickým předtvarováním je první operací po zahřátí desky její předtvarování pomocí stlačeného vzduchu. Deska se po zahřátí na tvarovací teplotu nejprve vyfoukne do tvaru „bubliny“ a protože je tvarována na vzduchu, ztenčuje se velmi rovnoměrně. Stupeň předtvarování se řídí množstvím, tlakem a teplotou vzduchu. Ta může dosahovat teploty zahřátého plastu. Do vytvořené bubliny se zespoda vtlačí pozitivní forma a přesný tvar získá výtažek po aplikaci vakua. Při tvarování je možné postupovat třemi způsoby: Ohřátá deska je nejprve předtvarována stlačeným vzduchem a teprve potom je zdvižena forma. Rychlost zvedání formy musí být co největší, aby se předtvarovaná deska neochlazovala. Jakmile forma dosáhne horní koncové polohy, ihned je zapnuto vakuum a výlisek je dotvarován. Nebo forma je zdvižena ještě dříve, než je předtvarování vzduchem zcela skončeno. Tím se dosáhne toho, že na vrchní ploše formy se vytvoří malé vzduchové polštáře, které jednak zabraňují dotyku desky s formou a jednak ještě napomáhají dalšímu předtvarování. To vede k ještě rovnoměrnějšímu rozdělení tloušťky stěny na výlisku. A nebo předtvarování vzduchem i pohyb formy se dějí současně.

Kombinované předtvarování

Z dalších možných způsobů tvarování je třeba uvést tvarování s pneumatickým a mechanickým předtvarováním. Používá se u zvlášť hlubokých výtažků s poměrem H / D větším, než 2. Následuje buď vtlačení formy do předtvarované desky a potom je uveden do pohybu tvárník a pak je zapnuto vakuum, nebo je forma uvedena do pohybu ještě před skončením pneumatického předtvarování a po dosažení konečné pozice formy jsou současně uvedeny v činnost tvárník i vakuum a nebo jsou současně uvedeny do pohybu forma i tvárník, a když dosáhnou konečné pozice je zapnuto vakuum. Konečný tvar získá výtažek zapojením vakua. Tento způsob se používá i pro výrobu výtažků se zdvojenými stěnami. Ty se tvarují v pozitivně-negativní formě, jejímiž funkčními částmi je jak vnější povrch tvárníku, tak vnitřní povrch dutiny. Forma se nejdříve pohybem vzhůru vtlačí do vyfouknuté desky, nato se střední část bubliny přetlačí předtvárníkem do negativní části formy. Tvarování se opět dokončí využitím vakua. Celý proces musí být automatizován, teplota nejen plastu, ale i vzduchu, formy a předtvárníku musí být přesně regulovány. Podle tvaru výtažku totiž činí konečná tloušťka stěny vzhledem k původní desce jen 20 %. Použitý plast proto musí vykazovat obzvláště vysokou tažnost. Doba potřebná na předtvarování ohřáté desky stlačeným vzduchem je asi 0,5 až 1 s. Na přetažení desky do negativní formy je třeba také asi 1 s a na dotvarování pomocí vakua rovněž asi 1 s. Vlastní tvarovací proces tedy proběhne asi během 3 s.



Přetlakové tvarování

K tvarování zvláště tlustých desek nebo plastů se špatnou tvarovatelností, kde nestačí síla vyvozená vakuem, se používá *přetlakové* tvarování. Rám s plastovou deskou je pevně spojen s uzavřenou komorou. Do zahřáté desky se nejdříve zatlačí pozitivní forma, která dosedne na rám. Do komory se potom přivede stlačený vzduch o tlaku 1 až 2 MPa, který z vnější strany přitlačuje desku k formě. Dokonalé vytvarování je zajištěno současným vytvořením vakua v prostoru mezi deskou a formou.

Kontinuální tvarování

Výtažky menších rozměrů, které se vyrábějí ve velkém množství, se s výhodou vyrábějí kontinuálním tvarováním. Plastová fólie nebo deska v podobě nekonečného pásu se odvíjí ze zásobníku, zpravidla se předeřhřívá a přichází do tvarovací formy. Proběhne tvarování, jemuž v případě potřeby předchází předtvarování, potom se výtažek chladí proudem vzduchu a v poslední se výtažek odstřihne od zbytku desky. Mezitím může být v lince zařazeno plnění a spojování s horní fólií včetně vysekávání.

Tvarovací formy a stroje

Tvarovací stroje jsou konstrukčně velmi jednoduché, většinou stolové konstrukce. Pohyb je ovládán hydraulicky, pneumaticky nebo mechanicky. Rám pro uchycení desky je opatřen pryží a upínání je mechanické nebo pneumatické. K ohřevu se většinou používají sálavé zdroje tepla, infrazářiče nebo pece. Tvarovací stroje jsou součástí linek, které na začátku dělí desky (stříháním, řezáním) a na konci opět oddělují díly a nebo třeba plní výrobky.

K přednostem tvarování termoplastických desek patří možnost používat jednoduché a zpravidla jednodílné tvarovací formy, protože funkci druhého dílu zastává okolní přetlak vzduchu. Tvarovací síly jsou malé, a proto formy mohou být z málo pevných materiálů. Materiál forem musí snést alespoň krátkodobě teplotu v rozmezí od 20 do cca 200 °C.

Sádrové formy se hodí jen pro zhotovení několika kusů výtažků, např. při ověřovacích zkouškách, protože sádra vlivem teplotních změn snadno praská. Dřevěné formy jsou trvanlivější, ale kvalita jejich povrchu se postupně zhoršuje se střídající se teplotou. Naproti tomu formy z tvrzené tkaniny mají životnost až 20 000 pracovních cyklů, ovšem podobně jako u dřeva je obtížné leštěním dosáhnout hladkého povrchu. Z tohoto hlediska je lepší tvrzené dřevo. Formy vyrobené odléváním epoxidových pryskyřic mají kvalitní povrch i dobrou rozměrovou stabilitu. Špatná tepelná vodivost samotných epoxidů se zlepší přidávkou litinového nebo hliníkového prášku nebo se do formy zalijí měděné trubky, kterými protéká chladicí kapalina. Pro velké série jsou nejvhodnější formy z lehkých slitin. Vyrábějí se většinou odléváním a dodatečným obrobením funkčních ploch. Ocelové formy jsou nejtrvanlivější, ale používají se málo.

Podle velikosti výtažků se formy navrhují jako jednonásobné nebo vícenásobné. Jestliže se používají negativní formy, je možno tvarové dutiny umístit vedle sebe velmi těsně, což u pozitivních forem nejde. To se zlepšuje použitím speciální mříže, která desku přidržuje v místech mezi jednotlivými výtažky při pohybu vícenásobných tvárnků.

3.4.2.10 Lisování a přetlačování plastů

Lisování a přetlačování plastů jsou dva základní technologické způsoby, které byly používány jako jedny z prvních technologických postupů na zpracování plastů. Převážně se jimi zpracovávají reaktoplasty (fenolické hmoty, aminoplasty, polyestery, atd.). V současné době jsou tyto technologie nahrazovány vstřikováním, neboť se výrazně zkracuje celkový výrobní cyklus, odpadají dodatečné operace, snižuje se prašnost, apod.



Lisování plastů

Lisování je způsob tváření plastů ve vytápěné formě, nejčastěji ocelové, kdy se na materiál působí tlakem pro dosažení požadovaného tvaru. Základní technologické parametry lisování plastů jsou: lisovací tlak, teplota lisování a doba vytvrzování. *Lisovací tlak* ovlivňuje kvalitu povrchu vylisku, smršťení. Závisí na druhu hmoty, geometrii výrobku, na teplotě přehřevu a teplotě lisování. Bývá v rozmezí 10 až 60 MPa. Lisovací formy jsou vytápěny elektrickým odporovým topením na *teplotu lisování*, což je vlastně teplota lisovací formy. Teploty lisování závisí na druhu plastu, tloušťce stěny, geometrii výrobku, teplotě přehřevu a jsou v intervalu od 130 do 190 °C. Důležitá je rovnoměrnost teploty formy a stejné parametry na straně tvárniku i tvárnice. Doba vytvrzování se určuje obtížně a nejjednodušší způsob je podle tloušťky stěny výrobku (u fenolických hmot je to kolem 1 až 1,5 min na 1 mm tloušťky). Podle použitého tlaku se lisování dělí na *nízkotlaké* a *vysokotlaké*, kdy hranicí je 3,5 MPa.

Přetlačování plastů

Přetlačování reaktoplastů je způsob, při kterém se dávka plastu nekládá přímo do tvarové dutiny formy, ale do pomocné dutiny formy, odkud je po zplastikování přetlačena tlakem vtokovými kanály do vlastní dutiny formy. Přetlačování se používá pro vylisky složitých tvarů, pro vylisky se zálsky, apod. Výrobek sice nemá přetoky, ale velké množství hmoty zůstává ve vtakovém systému a v pomocné dutině, neboť i zde se musí objem dávky navýšit oproti objemu konečného výrobku. Přetlačovací tlaky jsou oproti lisování vyšší, bývají kolem 50 až 100 MPa, mohou se však snížit přehřevem plastu. Doba vytvrzování vůči lisování je kratší, cyklus je však delší v důsledku většího počtu operací.

3.4.2.11 Válcování

Válcování je technologický způsob, který se používá hlavně k přípravě fólií a podlahovin, koženek, k nanášení polymerů, k míchání, drcení, atd. Intenzitu válcování ovlivňuje mezera mezi válci a rozdíl v obvodových rychlostech válců – *skluz*. Každým dalším průchodem materiálu mezi dvojicí válců se zlepšuje kvalita prohnětení a kvalita povrchu. Poměry mezi válci jsou ukázány na obrázku.

Postup výroby je např. následující: plast (PVC), který se připraví mícháním, se zželatínuje při teplotě kolem 170 °C v hnětacím nebo vytlačovacím stroji. Zplastikovaná směs potom přichází na dvouválec, kde se promíchává vlivem nestejně obvodové rychlosti válců, které jsou vytápěné. Odtud hmota odchází na válcovací linku (kalandr).

Válcováním se zpracovávají materiály, jako PVC a jeho kopolymery, HDPE, LDPE, apod.

Válcovací stroje pro jednotlivé technologické procesy nepracují samostatně, ale jsou vybaveny obslužnými zařízeními, které vykonávají přípravné procesy (viz. kap. 3), ale i zařízeními, které vykonávají doplňkové procesy (chlazení, desénování, dloužení, potiskování, ořezávání, apod.).

Válcovací stroje se kromě podle počtu válců dělí i podle technologických způsobů výroby. Dvouválce se obvykle používají ke zdvojování fólií, tříválce k nánosování textilu a ke zpracování kaučuků, čtyřválce ke zpracování měkčeného PVC, k nanášení vrstev, apod.

3.4.2.12 Odlévání

Odlévání je technologie, která je řazena mezi technologie ke zpracování kapalných systémů. Odlévat se dají jak termoplasty (PVC, PMMA, PA, atd.), tak i reaktoplasty (epoxidové, polyesterové, fenolické, apod. pryskyřice, PUR), v omezené míře latexy. Základem této technologie je převedení polymeru do stavu, kdy je hmota velmi dobře tekutá. Výhodou odlévání je výroba dílů bez vnitřního pnutí, výroba tvarově rozdílných dílů najednou, minimální odpad, konstrukční jednoduchost a nízké náklady na formy a stroje. Nevýhodou je omezení počtem vhodných plastů, nízká rozměrová přesnost, dlouhé pracovní cykly. Podle pohybu formy se odlévání dělí na gravitační, rotační a odstředivé.



Odlévání do statických forem – gravitační lití je technologicky nejjednodušším způsobem, neboť na materiál působí pouze hydrostatický tlak a proto musí mít hmota velmi dobrou tekutost. Formy, které mohou být jak kovové, tak i skleněné nebo z plastů, se během procesu nepohybují a jsou ohřívány na teplotu, která je závislá na druhu odlévaného plastu. Často se touto technologií zpracovává PMMA na desky, trubky, tyče, atd., kdy se mezi dvě skleněné desky, které se mohou pohybovat a tím reagovat na smrštění (smrštění je vysoké, neboť se zde nekompenzuje dotlakem, jako např. u vstřikování), naleje předpolymerizovaná hmota a následnou polymerací, která je velmi pomalá, vzniká konečný výrobek. Použitím vhodného plniva se může imitovat přírodní materiál, např. mramor, kámen, atd. Doporučuje se však, hlavně kvůli hladkému povrchu, nejdříve vytvořit tenkou povrchovou vrstvu bez plniva a teprve potom tvořit objem výrobku naplněný vhodným plnivem.

Při odlévání do rotujících forem (rotační lití) se forma naplní přesně odměřeným množstvím hmoty, uzavře se a přesune se do vyhřívané komory. Formy se v komoře jednak ohřívají na stanovenou teplotu a zároveň se otáčejí obvykle kolem dvou vzájemně kolmých os rozdílnými otáčkami, které však nejsou vysoké (pod 50 ot.min⁻¹) a které závisí na tokových vlastnostech plastu. Po ukončení procesu se formy chladí buď vzduchem nebo vodní mlhou, ale i zde se otáčejí. Délka cyklu závisí na tloušťce stěny, je však mnohem kratší.

Odlévání do rotujících forem – odstředivé lití je založeno na stejném principu, jako rotační odlévání s tím rozdílem, že formy se otáčejí kolem jedné osy a otáčky jsou mnohem vyšší – až 1500 ot.min⁻¹. V tomto případě jsou odstředivé síly mnohem větší, než síly gravitační.

3.4.2.13 Doplnkové technologie pro zpracování plastů

Mezi doplňkové technologie se řadí všechny technologie, které nelze zařadit do tvářecích a tvarovacích technologií. Patří sem jednak technologie na úpravu povrchu (lakování, kaširování, pokovování, povlakování, dezénování, potiskování, atd.), jednak technologie využívající kapalné systémy (máčení, natírání, impregnace), technologie určené pro spojování plastů (lepení, svařování, nýtování, atd.) a technologie obrábění plastů. V důsledku velkého počtu technologií budou v následujících kapitolách stručně popsány vybrané doplňkové technologie.

Technologie spojování plastů

Tyto technologie slouží ke spojování dílů z plastů buď navzájem mezi sebou nebo s jinými materiály. Spoj je možno provést rozebíratelným (šroubové, západkové, trubkové, aj. spoje) nebo nerozebíratelným způsobem (lepení, svařování, mechanické metody – nalisování, nýtování). Probráno bude pouze lepení a svařování, protože ostatní způsoby spojování se týkají spíše konstrukce plastových dílů a ne technologie.

Lepení

Lepení plastů lze charakterizovat jako technologický proces, při kterém se vytváří nerozebíratelné spojení dvou stejných nebo odlišných materiálů za použití zvoleného adheziva (lepidla). Na rozdíl od lepení kovů se lepení plastů jeví jako jednoduché spojování polymerů polymery, ale ve skutečnosti to není tak jednoduché, jak se na první pohled může zdát. Polymerní materiály jsou totiž mnohem komplikovanější, než kovy, a liší se nejenom *molekulovou hmotností* (rozdílná distribuce částic), ale i množstvím *přísad* (barviva, změkčovadla, stabilizátory, atd.), z nichž mnohé přímo brání lepení.

Výhodou lepení je, že můžeme lepit jakékoliv materiály a díly různé velikosti a tloušťky. Nedochází k narušení struktury jako třeba u nýtování, k ovlivnění a narušení struktury jako při svařování a zachovává se vnější vzhled. Navíc při dynamickém namáhání rozvádí lepený spoj napětí rovnoměrněji a spoje jsou těsné a nepropustné pro plyny a páry. Mezi další výhody technologie lepení patří jednoduchý postup při lepení, relativně velká pevnost při malé hmotnosti, možnost slepovat i ohebné předměty, minimální lokální



koncentrace napětí při správném provedení lepeného spoje. Nevýhodou je dokonalá příprava povrchu a doba, po kterou musí dojít ke ztuhnutí nebo vytvrzení lepidla, nižší tepelná (a někdy i chemická a mechanická) odolnost lepeného spoje proti základnímu materiálu a nízká odolnost proti odlupování.

Svařování plastů

Svařování plastů je technologie spojování dílů z plastů za použití tepla nebo tlaku s přídavným materiálem nebo bez něho, přičemž se ve svařovací zóně spojovaných ploch nachází materiál ve viskózně-tekutém stavu. Svařování plastů lze použít pouze pro termoplasty, které se dají přivedeným teplem převést do plastického, popř. tekutého stavu. Reaktoplasty nelze svářet, protože po zpracování jsou dále již netavitelné, nelze je již převést do plastického stavu. Výhodné jsou termoplasty s širokou oblastí viskózního stavu (horní a spodní teplotou teploty tání resp. teploty viskózního toku) a termoplasty s pozvolným přechodem do tekutého stavu, např. PVC, PS, PE, PP. Termoplasty se strmým přechodem, např. PA, jsou pro svařování méně vhodné. Ještě větší opatrnosti je nutné dbát u termoplastů náchylných k oxidaci za vyšších teplot, např. u POM. Při použití dvou odlišných druhů plastů nebo např. u plněných plastů, a to jak u základního materiálu, tak i mezi přídavným a základním materiálem, je potřeba uvažovat s výrazným poklesem pevnosti svarového spoje. Tyto svarové spoje nemohou splňovat náročné podmínky, kladené na jejich pevnost a jsou určeny pouze pro podřadné účely.

V praxi se uplatňuje pro svařování termoplastů poměrně velké množství technologií, z nichž některé jsou vhodné jen pro trubky, některé jen pro desky nebo fólie, některé se používají často, některé pouze ojediněle. Většina metod svařování plastů je odvozena od svařování kovů.

Svařování horkým plynem při současném použití přídavného materiálu se používá skoro u všech termoplastů a v technologické praxi je poměrně rozšířené. Spoj se vytváří pomocí přídavného materiálu, který se, stejně jako povrch svařovaných dílů, ohřívá proudem horkého plynu na teplotu, kdy je natavený plast za působení tlaku schopen vytvořit dostatečně pevný spoj. Základní materiál i přídavný materiál se působením horkého vzduchu plastifikuje se do viskózně - tekutého stavu. K vzájemnému spojení, a tedy k vytvoření svarového spoje, dochází za působení tlaku.

Přídavný materiál, většinou ve formě tyčinky (drátu), ale i s trojúhelníkovým průřezem, bývá z téhož typu termoplastu, jako je základní svařovaný materiál a přivádí se (vtlačuje se) do svarového spoje kolmo ke svařovaným plochám. Přitlačuje se ručně nebo mechanicky. Rychlost svařování (podávání drátu) se pohybuje od 10 do 60 cm.min⁻¹. Svarový spoj musí být provedený v celém svařovaném průřezu a celou mezeru je nutné postupně vyplnit přídavným materiálem. Ke svařování kořene se používají dráty menších rozměrů, k vyplnění svaru se používají dráty větších rozměrů.

Svařování kontaktní je založeno na dotyku svařovaného materiálu se zahřátým nástrojem a na přenosu tepla kontaktní (vedením). Umožňuje dosáhnout kvalitních svarů při vysokém výkonu. Svary dosahují vysoké pevnosti (až 100 % pevnosti základního materiálu) a neobsahují téměř žádné vnitřní pnutí. Technologie kontaktního svařování vyžaduje přesnou regulaci teploty pracovních částí nástroje a dodržení tlakových podmínek, resp. působících sil. Ohřev svařovaných součástí topným tělesem může být buď *přímý* nebo *nepřímý*. U přímého ohřevu je maximální teplota v místě styku obou svařovaných součástí, u nepřímého ohřevu je maximální teplota na povrchu základního materiálu, který je nejbližší topnému tělesu. Proto špatná vodivost plastů dovoluje použít nepřímý ohřev pouze na svařování fólií.

Svařování radiální je obdobou předchozí technologie svařování pouze s tím rozdílem, že povrch svařovaných materiálů není ohříván dotykem s ohřátým nástrojem (kontaktní), ale je ohříván přenosem tepla sáláním, zářením (radiací). Na rozdíl od technologie svařování kontaktní zde však dochází k oxidaci povrchu svařovaných ploch a tedy ke zhoršení kvality a pevnosti svarového spoje. Z tohoto důvodu není



tato technologie svařování příliš rozšířená, používá se hlavně u fólií a ustupuje vůči kondukčnímu svařování do pozadí.

Svařování ohraňováním (ohýbáním). Tvarování a svařování deskových polotovarů vyžaduje vysokou přesnost ohřevu na tvarovací a svařovací teplotu, aby při tvarování nedocházelo k tepelné degradaci termoplastu. Tento ohřev zbytečně prodlužuje technologickou operaci a navíc vyžaduje použití dalších přípravků, aby byla zajištěna rozměrová přesnost výrobků. Tyto problémy řeší podstatně jednodušším způsobem technologie svařování ohraňováním, a to hlavně při svařování polyolefinů (PE, PP).

Nástrojem je svařovací lišta, která je opatřena klínovitým zkosením. Touto pracovní plochou, položenou na místo ohybu, se nechá svařovací lišta za účinku mírného tlaku vnikat až do hloubky 2/3 tloušťky desky. Po dosažení této úrovně se zruší účinek tlaku a nechá se pouze prohřívat svařovaný materiál. Následně se nástroj odsune a materiál se ohne do požadovaného úhlu. Teplota povrchových částí nástroje je shodná s teplotami jako u technologie kondukčního svařování. Desky větších tloušťek, obvykle nad 6 mm, je potřeba předem předfrézovat nebo je nutné opačnou stranu v místě ohybu ohřát na tvarovací teplotu daného plastu.

Polyfúzní svařování našlo největší uplatnění při svařování trubek z polyolefinů (PE, PP), resp. u trubek s tvarovkami pomocí tzv. hrdlových spojů. Podmínkou pro kvalitně provedený svarový spoj je nutnost zahřát na svařovací teplotu nejenom vnější povrch trubky, ale i vnitřní povrch hrdla. Svařované plochy se nahřívají kovovým nástrojem, zahřátým na svařovací teplotu, na který se svařované díly nasouvají. Teploty nástroje (teploty na povrchu polyfúzního nástavce) jsou shodné s teplotami jako u kondukčního svařování. Svařovací tlaky bývají kolem 0,1 MPa (polyolefiny a PVC). Stejných hodnot nabývají i ohřívací tlaky, potřebné k nahřátí a prohřátí základního materiálu. Nahřívací plochy nástroje jsou mírně kuželové (úhel asi 1°), což po vzájemném spojení vytvoří podmínky pro dosažení potřebného svařovacího tlaku. Pracovní plochy nástroje bývají většinou opatřeny vrstvou PTFE kvůli separaci a lehčímu čištění mezi jednotlivými pracovními cykly.

Elektrofúzní svařování je obdobná technologie svařování, jako bylo svařování pomocí polyfúze. Rozdíl je však v tom, že se svarové plochy nahřívají odporovou elektrickou spirálou, která je umístěná v hrdle každé tvarovky. Ohřev nastává až po nasunutí trubky (za studena). Po přerušení proudu a vychladnutí spoje zůstává odporová spirála v provedeném svarovém spoji, neboť je zatavena ve svaru. Tato technologie je momentálně nejrozšířenější v plynárenství a v drtivé většině se používá pro HDPE.

Svařování pomocí extruderu je shodné s technologií svařování s přídavným materiálem, který se však do svarové mezery nedodává ve formě tyčinky, ale ve formě zplastikovaného termoplastu ve tvaru housenky. Tato svařovací technologie je jednou z nejprogresivnějších technologií pro svařování plastů, zejména pro tlustostěnné materiály, svařované jednohousenkovými svary a také pevnost svarových spojů je vyšší, než u klasické metody svařování horkým vzduchem. Svar je ideálně hladký. Svařovací výkon je značný při porovnání se svařováním horkým vzduchem resp. s pomocí rychlosvařovacích nástavců. Bývá 40krát resp. 20krát vyšší. Zplastikovaný materiál, jehož teplota je kolem teploty tání krystalitů, se dodává do svaru pomocí kontinuálního vytlačovacího stroje. Vstupním materiálem do extruderu je buď svařovací drát nebo granulát. Hlavní podmínkou pro kvalitně provedený svar je nutnost předeheatovat svarových ploch na svařovací teplotu, což se nejčastěji provádí horkým vzduchem.

Vysokofrekvenční (dielektrické) svařování je založené na vzniku a vývinu tepla v dielektriku, tj. uvnitř termoplastu a závisí na dielektrických vlastnostech svařovaného materiálu. Svařovaný materiál se vkládá mezi dvě elektrody, na které se přivádí elektrický proud o vysoké frekvenci. Vytvoří se střídavé elektrické



pole, které v materiálu vyvolává shodnou orientaci makromolekul. Výsledkem orientace (natáčení) molekul je jejich vzájemné tření, čímž se vytváří potřebné teplo. Svařovací tlak mezi svařovacími elektrodami potom zajistí vznik svarového spoje.

Svařování ultrazvukem. Tepelná energie, potřebná k natavení termoplastu, se nepřivádí zvenku, ale vytváří se přímo v samotném svařovaném materiálu. Princip je založen na kmitání elektrody, tzv. *sonotrody* v oblasti ultrazvuku (frekvence 20 kHz a vyšší) a přenos těchto kmitů na jednu ze svařovaných součástí. Ultrazvukové kmity se potom šíří k místu styku obou svařovaných ploch, kde se mění v teplo vlivem vzájemného tření molekul o sebe, dochází k natavení polymeru a malým tlakem sonotrody (0,2 až 0,3 MPa) se obě součásti svaří. Svařovací tlak působí v ose sonotrody. Svařovací doba je krátká, méně než 2 sekundy. Pevnost svarů závisí na energii kmitů, na době jejich působení, na velikosti přitlačné síly a na čistotě svarových ploch. Aby se energie během svařování při průchodu termoplastem neztrácela, musí být sonotroda co nejblíže místa svaru. U součástí z amorfních plastů (PS, PVC, ABS, PMMA) je dovolena vzdálenost od místa svaru až 20 mm – tzv. *svařování v dalekém poli* (odlehle). U krystalických plastů (PE, PP, PA) je dovolená vzdálenost maximálně 5 mm – tzv. *svařování v blízkém poli*.

Svařování tepelným impulsem se používá pro svařování fólií, zejména z PE, PP. Princip svařování spočívá v tom, že do přeplátovaných fólií přichází buď z jedné nebo z obou stran v místě svaru tepelný impuls, který obě fólie svaří. Zdrojem energie je elektrický odporový pásek nebo kotouče, impulsně napájené elektrickým proudem o nízkém napětí. Svarový spoj chladne pod tlakem lisovníku po vypnutí přívodu elektrického proudu.

Svařování tlakovým impulzem. Princip svařování je podobný svařování tepelným impulsem avšak s tím rozdílem, že teplo se přivádí během krátkodobého kontaktu (tlakového impulsu) z lisovníku, který je ohřátý na svařovací teplotu. Svarový spoj potom chladne až po oddálení z místa svařování, což neumožňuje omezit vliv chladnutí a krystalizace na kvalitu svarového spoje, resp. na případné deformace a vnitřní pnutí.

Svařování třením je založeno na relativním pohybu svařovaných součástí vůči sobě za stálého styku, přičemž vzniká teplo. Obvykle jedna součást stojí a druhá rotuje nebo teplo může vznikat rotací třecího kotouče. Jakmile se stykové plochy v tenké povrchové vrstvě nataví na svařovací teplotu (ze svařovaných ploch začnou vlivem odstředivé síly odletovat natavené částice základního materiálu), rotace se zastaví a oba svařované materiály se následným tlakem, který se postupně zvyšuje, svaří. Odtavený materiál vytvoří kolem svaru slabý otřep (přetok). Doba svařování je obvykle kratší, než 1 sekunda, protože plasty mají velmi nízký koeficient tepelné vodivosti.

Vibrační svařování se aplikuje pro střední a velké díly. Používá se hlavně tam, kde jsou požadavky na krátký čas svařování a velikost dílu neumožňuje používat ani rotační svařování třením (díle nerotačních tvarů), ani svařování ultrazvukem. Energie, potřebná k roztavení a k svařování součástí, vzniká kmitavým pohybem ve spojovací rovině mezi spojovanými díly pod svařovacím tlakem. Kmity mohou být vyvozeny buď mechanicky, hydraulicky nebo elektromagneticky. Pracovní frekvence je od 100 do 300 Hz při amplitudě od 0,5 do 2,5 mm. Vždy však musí být dodrženo pravidlo, že pro nízkou amplitudu se musí použít vysoká frekvence a naopak, aby byl zajištěn dostatek energie pro natavení a svařování. Čas, potřebný pro ohřev a natavení povrchu svařovaných částí, je podle velikosti svařovaných dílů od 1 do 20 sekund. V poslední fázi (tlakové) jsou svařované díly k sobě přitlačeny svařovacím tlakem bez vibračního pohybu do konečné pozice a tato tlaková fáze trvá až do úplného ztuhnutí taveniny polymeru v místě svaru. Pevnost svarového spoje je srovnatelná s pevností základního materiálu.



Svařování plamenem, otavením se používá ke svařování fólií, které se na začátku svařování umístí mezi dvě nehořlavé lišty (kovové nebo skleněné materiály) tak, aby část materiálu přečnivala přes okraj (několik milimetrů). Přečnívající okraj se nahřeje (roztaví) plamenem nebo žhavým drátem.

3.4.3 Techniky s použitím laseru

Slovo LASER je akronymem anglického *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, tedy zesílení světla stimulovanou emisí záření. K zesílení světla dochází opakovanými průchody fotonů médii se specifickými vlastnostmi.

Základem každého laseru je aktivní prostředí. Jde o medium schopné zesilovat jím procházející záření díky stimulované emisi. Jde o jev, který může nastat při interakci fotonu s atomem nebo molekulou.

Konstrukce laseru. Základní součásti laserových systémů

Kromě aktivního prostředí, ve kterém dochází ke stimulované emisi jsou nezbytnými základními součástmi laserových systémů čerpací zařízení, optický rezonátor, vedení svazku, chlazení, manipulační zařízení a řídicí počítač.

Čerpací (budicí) systém dodává energii aktivnímu prostředí a zajišťuje přebytek částic ve vyšším energetickém stavu, tedy inverzní populaci nutnou pro zajištění stimulované emise. Pro dosažení vyššího počtu stimulovaných přechodů oproti spontánním musí být zařazen optický rezonátor. Jde o dvě zrcadla, mezi nimiž je umístěno aktivní prostředí. Záření vystupující z aktivního prostředí se odráží od zrcadla zpět do aktivního prostředí, kde funguje jako podnět k další stimulované emisi. Opakovanými odrazy se laserové záření zesiluje. Po dosažení požadované intenzity opouští svazek rezonátor jedním ze zrcadel, které je částečně propustné.

V případě průmyslových laserů je svazek opouštějící rezonátor dále upravován systémem čoček a clon, který zvyšuje kvalitu a upravuje průměr výstupního svazku. Tento systém se nazývá *expander* a slouží především ke snížení divergence svazku. V expanderu dochází k velkým energetickým ztrátám, což vždy snižuje výslednou účinnost laserového systému. Kvalita svazku je však v řadě aplikací preferována před jeho výkonem.

Filtrovaný svazek je dále soustavou zrcadel a čoček veden do *pracovní hlavy laseru (laserové hlavy)*, případně do optického vlákna a jejich prostřednictvím k místu určení. Materiál, ze kterého jsou optické komponenty vyrobeny, závisí na vlnové délce generovaného záření a nesmí toto záření pohlcovat. Nejvíce se používá dielektrické sklo nebo leštěné kovy.

Vyžaduje-li konkrétní aplikace vzájemný pohyb svazku a ovlivňovaného materiálu používají je pracovní stoly s přesnými motorizovanými posuvy, případně pohyblivé laserové hlavy. Pro přesný 3D pohyb se využívá robotů a manipulátorů.

Vzhledem k velkým energetickým ztrátám při buzení aktivního prostředí, dalším ztrátám v rezonátoru i na optických prvcích, kterými svazek prochází, dochází k významnému ohřevu mnoha součástí během činnosti laseru. Je-li aktivním prostředím krystal, může docházet i ke změnám jeho rozměrů, a tím i vlastností a při určité teplotě přestává laser fungovat. Každý výkonový laserový systém proto musí být vybaven *chladicím zařízením*. Tradičně se využívá především chlazení založené na proudění kapaliny, nejčastěji demineralizované vody.

Na závěr uvedme velmi významnou součást laserového systému, kterou je *řídicí počítač*, který je často již zabudován do opláštění systému. Obsahuje software pro nastavení všech volitelných parametrů laseru a je jím ovládáno otvírání a zavírání laserové závěrky i vzájemný pohyb pracovního stolu a laserové pracovní hlavy. Jednoduché pohyby mohou být definovány například přímo v G-kódu, kterým lze řídit start a stop laseru, ale pro složitější geometrie je vhodné využít některý z 3D CAD programů a jeho data importovat do řídicího programu.



Klasifikace laserů

Lasery je možné dělit podle typu aktivního prostředí, vlnové délky, pracovního režimu, způsobu buzení, výkonu, účelu a dalších parametrů. Přehled tří základních způsobů klasifikace laserů uvádí tabulka níže:

Podle typu aktivního prostředí:	
plynové	atomární: He-Ne, He-Cd, Cu, I iontové: Ar, Kr molekulární: CO ₂ , N ₂ , H ₂ excimerové: XeBr, KrO, ArO
pevnolátkové	Nd:YAG, Nd:sklo, Er:YAG, Yb:YAG, Ti:safír, rubínový
diodové	GaAs, GaN, PbSnSe, InAsSb
kapalinové	na bázi organických barviv: coumarin, fluorescein, cyanin, rhodamin, oxazine
Podle vlnové délky:	
infráčervené	(780 nm–1 mm)
emitující ve viditelné oblasti	(360–780 nm)
ultrafialové	(10–360 nm)
Podle režimu práce:	
kontinuální	(nepřetržitá generace záření)
pulsní	(ns, ps, fs pulsy s vysokou opakovací frekvencí)
impulsní	(vysoce energetické pulsy s nízkou opakovací frekvencí)

Laserové vrtání

Laserové vrtání je založeno na odpařování materiálu, a vyžaduje tedy vysokou hustotu výkonu dopadajícího laserového svazku. Po dopadu fokusovaného svazku se materiál lokálně ohřeje na teplotu varu a dojde k jeho částečnému odpaření. Vytvoří se dutina, podle charakteristického tvaru nazývaná *keyhole*. Uvnitř dutiny dochází k mnohonásobným odrazům záření, což má za následek náhlý vzrůst absorpce, a tím i prohloubení otvoru.

K vrtání se používají především pulsní lasery. Při dostatečném výkonu pulsů a malé tloušťce materiálu může dojít k úplné penetraci po dopadu jediného pulsu. Obvykle se však využívá opakování řady pulsů v definovaných sériích. Vrtat laserem lze nejen kovy, ale také plasty, dřevo, sklo, keramiku a další materiály.



Laserové řezání

Při laserovém řezání se dosahuje velmi úzkých, přesných a hladkých řezů bez okují. Hrany jsou kolmé i při větších tloušťkách materiálu a zpravidla nejsou nutné jejich žádné další úpravy. Hloubka řezu závisí na výkonu laserového systému a na druhu řezaného materiálu.

Existuje řada technologií laserového dělení materiálů. Mezi základní a nejčastěji používané patří odpařovací a tavné řezání, a dále laserové orýsování, studené řezání a kontrolovaný lom, LASOX proces a další. Podrobněji budou popsány pouze některé.

Odpařovací řezání je prakticky vrtáním řady otvorů jeden vedle druhého. Této metody se využívá především pro dělení netavitelných materiálů, jakými jsou dřevo, uhlík nebo některé plasty. Pro dělení kovů by byl zbytečně energeticky náročný, neboť vyžaduje velmi vysokou hustotu výkonu svazku. Nejčastěji využívané je **tavné řezání**. Jeho princip spočívá v místním natavení materiálu po dopadu laserového svazku a následném odstranění taveniny ze vznikající spáry proudem vysokotlakého plynu přiváděného koaxiálně s laserovým svazkem, který současně ochlazuje dělený materiál.

Objem odstraněného materiálu za jednotku času odpovídá průměrnému výkonu laserového systému, tloušťce materiálu, jeho tepelným vlastnostem, velikosti pracovní rychlosti systému a dalším parametrům. Ve srovnání s odpařovacím řezáním je pro tavné řezání stejné tloušťky potřebná jen desetina výkonu. Je-li navíc použit plyn, který exotermicky reaguje s materiálem, získáváme další zdroj tepla a energie svazku pak může být nižší nebo při její stejné hodnotě je možné použít vyšší pracovní rychlost pro dosažení ekvivalentních výsledků. Tento způsob se označuje jako reaktivní tavné řezání a jako pracovní plyn se používá kyslík nebo směs plynů s obsahem kyslíku.

Další metodou je **laserové orýsování**, které spočívá ve vytvoření zářezů nebo řady otvorů pomocí svazku s nízkou energií a vysokou plošnou hustotou výkonu. Zpravidla nedochází k úplné penetraci připravených vrypů. Metoda se používá především pro dělení křehkých a tepelně citlivých materiálů a v modifikované podobě ji lze použít i pro značení materiálů.

Pro dělení některých druhů plastů a především pak organických látek se uplatňuje tzv. studené řezání. Používají se k němu výkonové excimerové lasery, které vyzařují v ultrafialové spektrální oblasti. Energie fotonů emitovaného záření dosahuje hodnot 4,9 eV, což odpovídá vazebné energii řady organických látek. Působením tohoto záření dochází k narušení mezimolekulárních vazeb a k ablaci. Materiál je odstraněn bez tavení a nedochází k téměř žádnému ohřevu okolí. Excimerové lasery se v průmyslu používají hlavně pro mikroaplikace a své uplatnění nalézají především v medicíně, kde se používají při operacích rohovky, odstraňování tumorů a řadě dalších chirurgických výkonů.

Výhody řezání laserem:

- malá šířka řezu
- vysoká rychlost řezu = vysoká produktivita
- velká přesnost řezu = možnost řezat složité tvary
- vysoká kvalita řezu = hladký povrch řezu = odpadá nutnost dalšího opracování
- malý teplotní vliv na materiál

Laserové svařování

Při působení laserového svazku s vysokou plošnou hustotou výkonu dochází k rychlému lokálnímu ohřevu, při kterém se nestihnou plně uplatnit mechanismy vedení a sálání tepla. Ohřev, natavení, spojení i následné ochlazení součástí při svařování laserem probíhají velmi rychle, díky čemuž získáváme úzkou tepelně ovlivněnou oblast v okolí svaru, a tím i mnohem menší deformace svarů. Dalšími přednostmi použití laseru jsou vysoká rychlost svařování, vysoká pevnost a také čistota svarů díky bezkontaktnímu přístupu nebo možnost svařovat materiály s velmi rozdílnými teplotami tavení.



V závislosti na výkonu laseru a průměru fokusovaného svazku, případně poloze ohniska vůči materiálu, získáváme konkrétní velikost hustoty výkonu svazku, podle níž dělíme techniky svařování laserem na indukční, penetrační a keyhole svařování vzhledem k dosahovanému poměru hloubky k šířce svaru. Svařování laserem postupně vytlačuje obloukové svařování. Aby bylo použití laseru ekonomicky výhodné, je nutná produkce velkých sérií. Ke svařování se nejčastěji používají CO₂ lasery, Nd:YAG lasery a nově především diodové lasery. Laserem se svařují hermetická pouzdra miniaturních relé, tranzistory, kardiostimulátory, mikroelektronické součástky, rámy jízdních kol, ale také plechy v automobilovém průmyslu.

3.4.4 Ochrana ovzduší v plastikářském průmyslu

Všechny výše uvedené operace mohou být zdrojem:

- prachu
- VOC
- pachových látek

Zdrojem prachu je zejména manipulace se surovinami, jejich mletí, drcení, míchání a sušení. Zdrojem prachu může být i mechanické opracování plastu.

VOC mohou být dopřídávány v průběhu procesu do směsí. Dále se VOC se uvolňují při zpracování plastu teplem – zejména vstřikování, lisování – a při všech operacích, kdy se plasty taví.

Vznik pachových látek prochází celou plastikářskou výrobou, ale zejména operace vstřikování, lisování a tavení plastů.

Uvedené emise vznikají i při řezání a svařování plastu laserem.

Nejnižší emise do ovzduší vykazuje tzv. studené řezání laserem, které se dá považovat za bezemisní.

3.4.5 Dosahované emisní úrovně

Na rozdíl od dvou výše uvedených kapitol, které představují agregaci různých zdrojů, lze u této kategorie stacionárního zdroje 6.5. Výroba a zpracování ostatních syntetických polymerů a výroba kompozitů identifikovat dosahované emise.

Emisní údaje z REZZO k této kategorii zdrojů za rok 2014 byly statisticky zpracovány do formy níže uvedené tabulky

Škodlivina	TZL	VOC
MIN emisní koncentrace [mg/Nm ³]	0,002	0,1
MAX emisní koncentrace [mg/Nm ³]	90,00	2210
průměrná dosahovaná koncentrace [mg/Nm ³]	3,79	41
medián emisních koncentrací [mg/Nm ³]	1,17	9
podíl zdrojů dosahujících průměrné emisní koncentrace	73%	1
20. nejmenší koncentrace [mg/Nm ³] *	0,43	1
20. největší koncentrace [mg/Nm ³] **	4,83	72
75% kvartil emisních koncentrací [mg/Nm ³] ***	3,29	35
95% percentil emisních koncentrací [mg/Nm ³] ****	13,46	89



Vysvětlivky:

- * Znamená, že pouze 19 dalších měření emisí vykázalo koncentrace nižší, než uvedená hodnota.
- ** Znamená, že pouze 19 dalších měření emisí vykázalo koncentrace vyšší, než uvedená hodnota.
- *** Znamená, že 3 čtvrtiny zdrojů dosahují uvedené hodnoty emisních koncentrací.
- **** Znamená, že 5 % zdrojů dosahuje emisních koncentrací vyšších, než uvedená hodnota.

Pozn.: V této kategorii zdrojů bylo k dispozici jediné měření SO₂.

Dle této emisní analýzy nelze usoudit, zda všechny zdroje plní/budou plnit emisní limit.

Emisní limity pro tuto kategorii zdrojů jsou platné od 1. 1. 2016 a nejsou stanoveny plošně.

Emisní limity TOC ve výši 85 mg/m³ jsou stanoveny pro zpracování kapalných epoxidových pryskyřic s aminy a 50 mg/m³ pro zařízení na výrobu polyuretanových dílců, stavebnin s použitím polyuretanu, nevztahuje se na polyuretan nadouvaný uhlovodíkem (např. pentan).

Emisní limit NH₃ ve výši 50 mg/m³ je stanoven pro zařízení na výrobu předmětů tepelnou úpravou s použitím aminoplastů nebo fenoplastů jako např. furanových, močovinoformaldehydových, fenolových nebo xylenových pryskyřic.

Emisní koncentrace NH₃ byla v roce 2014 vykázána pouze ve čtyřech případech a pohybovala se v rozsahu 6,4 mg/m³ až 24,96 mg/m³.

Od 1. 1. 2016 je pro tuto kategorii zdrojů stanovena technická podmínka: Za účelem předcházení emisím znečišťujících látek obtěžujících zápachem využívat opatření ke snižování emisí těchto látek, např. svedením emisí organických látek na jednotku termického spalování.



4 NEJLEPŠÍ DOSTUPNÉ TECHNIKY

Zpracování tohoto dokumentu ukázalo, že na rozdíl od zařízení ve smyslu zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci představují stacionární zdroje, které jsou předmětem tohoto dokumentu, natolik neuchopitelnou a velmi různorodou skupinu zdrojů, že pro není možné uplatnit obdobnou skupinu nejlepších dostupných technik ve smyslu integrované prevence. Takový přístup by byl v některých případech technicky neřešitelný, ekonomicky neúnosný a v mnoha případech nákladově velmi neefektivní. Navíc nelze uplatnit jednoduchý princip, že čím menší stacionární zdroj, tím menší šance na uplatnění nejlepší dostupné techniky.

Zadání zpracování tohoto dokumentu nicméně směřovalo na vazbu nejlepších dostupných technik a podporu ze strukturálních fondů EU. Ve vazbě na dotační podporu se otvírá mnohem širší pole uplatnění nejlepších dostupných technik, neboť se stírá jedna ze základních výše uvedených bariér - ekonomická přijatelnost pro provozovatele (pouze investiční - provozní ekonomická náročnost zůstává). Zpracování tohoto dokumentu ukázalo, že je možné, při presumpci podpory z fondů EU, vydefinovat skupinu nejlepších dostupných technik, které je vhodné uplatnit i na stacionárních zdrojích, které nejsou předmětem právní úpravy v oblasti integrované prevence. I tak lze ale nalézt u nejlepších dostupných technik mantinely definované výše uvedenými bariérami (technická neřešitelnost, ekonomická neúnosnost a nákladová neefektivita).

U nejlepších dostupných technik uplatnitelných na definované výduchy dokument uvádí emisní koncentrace dosažitelné uplatněním příslušné techniky, pokud jsou informace o těchto emisních koncentracích dostupné. U technik uplatnitelných na fugitivních emisích tato informace logicky uvedena není. Praxe ale ukazuje, že přínos těchto technik je nezanedbatelný a u některých typů zdrojů rozhodující. Jejich význam se navíc zvyšuje narůstající regulací definovaných emisí z výduchů.

S ohledem na obrovskou různorodost a širokou škálu jmenovitých parametrů (kapacita, výkony, příkony) není ve většině případů možné uvést jednotkové náklady na nejlepší dostupné techniky. Tam, kde zpracovatel dokumentu usoudil, že je to relevantní, jsou uvedeny konkrétní příklady nákladů a přínosů uplatnění nejlepších dostupných technik.

4.1 Úvod k BAT ve zpracování plastů a nakládání s chemickými látkami

Aby nedocházelo k překryvu s BREF, tento dokument se nezabývá hlavními chemickými procesy, ve kterých dochází k chemické reakci. BAT pro chemický průmysl, uvedené v dokumentech BREF vyjmenovaných v tomto dokumentu, jsou velice specifické.

Tento dokument se zabývá souvisejícími procesy a činnostmi v chemickém průmyslu jako je skladování chemických surovin a výrobků, manipulace s nimi, úprava jejich fyzikálních vlastností, jejich míchání, směšování, přečišťování, apod. Tyto procesy mohou být provozovány podniky za účelem výroby finálního produktu, aniž by během výroby docházelo k chemickým reakcím (např. výroba domácích a kuchyňských čisticích prostředků).

Dále uvedené BAT se tedy soustředí na:

- prašnost
- emise VOC a pachových látek



V případě kategorie zdroje 6.5. Výroba a zpracování ostatních syntetických polymerů a výroba kompozitů jsou znečišťujícími látkami opět pachové látky a VOC.

BAT vždy tvoří kombinace primárních technik pro obecné použití, primárních specifických BAT, a případně sekundárních (koncových) BAT.

4.2 Primární (preventivní) BAT pro obecné použití

Uvedené BAT jsou aplikovatelné pro všechny uvedené zdroje:

- Školení, vzdělávání a motivace pracovníků na všech úrovních
- Optimalizace řízení procesů
- Zajištění dostatečné preventivní údržby
- Systém environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS) s jasně definovanými odpovědnostmi, pracovními pokyny a detailně popsány postupy, které mohou ovlivnit kvalitu ovzduší
- Dodržování technologické kázně a předepsaných pracovních postupů a systém kontroly jejich dodržování
- Pravidelné provádění emisních bilancí a navrhování opatření k jejich omezení
- Provádění detekce úniků emisí (v rámci možností daných procesů) a navrhování opatření k jejich omezení

4.3 Primární specifické BAT

4.3.1 Primární specifické BAT pro procesy s vývinem prachu (TZL):

- omezení operací se sypkými látkami ve venkovním prostředí na minimum
- zkrácení sypkých materiálů uložených ve venkovním prostředí
- zakrytování skladů sypkých materiálů
- přeprava a manipulace sypkých materiálů ve vlhkém stavu, pokud je to možné
- uzavření zařízení prašných procesů, jako je drcení, mletí, prosévání a mísení;
- užití cirkulačních procesů v systémech vzduchové potrubní dopravy;
- manipulace s materiálem v uzavřených systémech v podtlaku a odprašování nasávaného vzduchu;
- odsávání vzdušiny s obsahem prachu ze strojů, reaktorů, nádob, a skladovacích nádrží tak, aby nedocházelo k fugitivním emisím

4.3.2 Primární specifické BAT pro procesy využívající organická rozpouštědla:

- náhrada VOC za netěkavé látky
- záměny nebezpečných VOC (dichlormetan) za méně nebezpečné
- recirkulace vzduchu s obsahem VOC, čímž dochází ke zvyšování koncentrace
- udržování nádob a výrobníků uzavřených kdykoliv je to možné
- odsávání vzdušiny s obsahem VOC ze strojů, reaktorů, nádob, a skladovacích nádrží tak, aby nedocházelo k fugitivním emisím
- dobře navržená a účinně provozovaná vzduchotechnika (odsávání vzdušiny), která zajišťuje dostatečnou výměnu vzduchu v pracovním prostředí a odvádí znečištěnou vzdušinu s vysokou účinností



- zamezení fugitivním emisím utěsněním hal, zavíráním oken a dveří (předpokládá účinný odsávací systém)
- způsob čištění zařízení: pomocí „projektilového čištění“ (pomocí plastické kuličky hnané tlakovým vzduchem, vyprazdňující zbytkový materiál do zásobníku)
- uzavřené automatizované systémy čištění kombinované s regenerací rozpouštědel pomocí destilace a znovuvyužití, mycí systémy bez VOC používající alkalická rozpouštědla

4.3.3 Primární specifické BAT pro pachové látky:

- odsávání vzdušiny s obsahem pachových látek ze strojů, reaktorů, nádob, a skladovacích nádrží tak, aby nedocházelo k fugitivním emisím
- dobře navržená a účinně provozovaná vzduchotechnika (odsávání vzdušiny), která zajišťuje dostatečnou výměnu vzduchu v pracovním prostředí a odvádí znečištěnou vzdušinu s vysokou účinností

4.4 Sekundární (koncové) BAT

4.4.1 Odlučovače TZL

Emisní úrovně dosažitelné při odlučování TZL závisí zejména na:

- velikosti odlučovaných částic
- vlhkosti plynu

Při návrhu odlučovače je třeba brát v úvahu zejména agresivitu prachu (korozivita, acidita, alkalita).

Suché mechanické odlučovače – cyklony a multicyklony

Účinnost cyklonů se udává 60-80%. Dobře provozovaný cyklon by měl být schopen udržet emise do hladiny 50 mg/m³, v náročných podmínkách do 75, případně do 150 mg/m³ TZL.

Tkaninové filtry

Účinnost tkaninových filtrů je vyšší než účinnost cyklonů – lze je použít jako druhý stupeň odlučování. Dobře provozovaný tkaninový filtr by měl být schopen udržet emise do hladiny 10 mg/m³, v náročných podmínkách do 25, případně do 50 mg/m³ TZL.

BAT je dobře provozovaný tkaninový filtr s neporušenou tkaninou.

4.4.2 Zařízení na snížení VOC a/nebo pachových látek

Emisní úrovně dosažitelné při snížení VOC a/nebo pachových látek závisí zejména na:

- účinnosti zachytu (adsorpce) dané VOC/pachové látky na daném materiálu – typu aktivního uhlí nebo zeolitu
- účinnosti oxidace dané VOC/pachové látky na daném katalyzátoru a/nebo při dané teplotě
- u biofiltru na schopnosti biologického odbourání dané VOC/pachové látky

Adsorpce na uhlíkových filtrech má účinnost cca 75% (od 60% do 85% podle podmínek). Emisní úrovně jsou do 50, případně 75 mg/m³ TOC. Hodí se pro nižší koncentrace emisí VOC (100 – 500 mg/m³) a pro často se měnící koncentrace VOC (např. nepravidelná, ruční, šaržovitá výroba).

Obeční BAT: dobrá údržba filtru, dodržování stanovených dob regenerace nebo výměny náplně (při vyšším nasycení – nad 25% hm. náplně účinnost zachytu prudce klesá).

Adsorpce nemusí být účinná pro některé druhy pachových látek.



Termická/katalytická oxidace má obvykle vysokou účinnost 95 – 99,9% odstranění VOC. Výstupní emisní úrovně by měly být do 25, případně do 50 mg/m³ TOC.

Katalytická oxidace je účinná a energeticky úsporná i pro nižší koncentrace VOC (0,1 – 1 (3) g/m³), termická oxidace se hodí pro vyšší koncentrace (nad 1 – 3g/m³).

U oxidace je volitelný BAT rekuperace tepla ze spalín.

Tato koncová technika odstraňuje s vysokou účinností i pachové látky.

Rekuperace VOC kondenzací nebo vymražením je účinná pro vysoké koncentrace (při kondenzaci při teplotách nad 0°C jsou to stovky gramů/m³) rozpouštědel při znovuvyužití rozpouštědel. Výstupní koncentrace VOC po kondenzaci je většinou příliš vysoká a vyžaduje další koncovou techniku před vypuštěním vzdušiny (adsorpce, katalytická/termická oxidace, biofiltrace).

Biofiltrace má obvykle účinnost nad 90% odstranění VOC i pachových látek, a hodí se pro nižší nebo nepravidelné koncentrace VOC.

4.5 Základní statistika využívaných technik k omezování emisí v sektoru

Byla provedena základní statistika využívaných technik omezování emisí v sektoru chemie a zpracování plastů z údajů v REZZO v roce 2014 (jedná se tedy pouze o zdroje, které v tomto roce ohlašovaly emise).

Tabulka počtu instalací koncových technik v chemickém průmyslu

Technika	Počet instalací
F - s vláknitou vrstvou s automatickým oklepem	4
F - s vláknitou vrstvou	34
S - vírový jednočlánek (cyklon)	1
S - multicyklon	1
M - rozprašovací	2
M - pěnový	2
M - vírový	1
adsorpce plynů	4
adsorpce plynů	5
nízkoteplotní kondenzace	8
spalování plynů v plameni (termické)	4
spalování plynů katalytické	3
biologická degradace – biofiltry, biopračky	1

Z této základní statistiky vyplývá, že v sektoru chemického průmyslu a zpracování plastů jsou použity téměř všechny běžné techniky k odstranění TZL a VOC/pachových látek. V nejvyšším množství je použita technika k odstranění emisí TZL – tkaninový filtr.

Tyto techniky jsou popsány v kap. 5.



4.6 Nejlepší dostupné techniky pro podporu z OPŽP

Kapitola nejlepší dostupné techniky vhodné pro podporu z OPŽP tvoří klíčovou kapitolu celého dokumentu. Nejlepší dostupné techniky definuje zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci jako určitý soubor technologií a know-how o jejich provozování. Tyto nejlepší dostupné techniky se uplatňují pro definovanou skupinu zařízení, u kterých je to možné a vhodné s ohledem na jejich velikost (technickou, kapacitní, ekonomickou i „vlivovou“ na životní prostředí) za účelem snížení vlivu těchto zařízení na životní prostředí.

Pro navržení konkrétní nové technologie je nezbytné nechat zpracovat odpovídající technický projekt odbornou projekční firmou, která navrhne/spočítá konkrétní parametry technologie.

4.6.1 Analýza čerpání podpor v 1. programovém období OPŽP v sektoru

Vzhledem k tomu, že informace získané z OPŽP neobsahují kód zdroje znečištění ovzduší, nelze určit využití OPŽP v 1. programovém období tímto sektorem.

Vzhledem ke statistice instalací koncových technik zařízení k omezení TZL v sektoru chemického průmyslu a zpracování plastů mohl tento sektor čerpat z podoblasti podpory OPŽP 2.2.b) Rekonstrukce nespalovacích zdrojů nebo instalace dodatečných zařízení pro zachyt emisí za účelem snížení emisí znečišťujících látek, pro které jsou stanoveny emisní, imisní limity.

V této podoblasti bylo podpořeno v 1. programovém období OPŽP podpořeno 105 projektů.

Dále mohl tento sektor čerpat z podoblasti podpory OPŽP 2.2.c) Snížení VOC.

V OPŽP bylo od zahájení činnosti programu do dubna 2014 v podoblasti podpory 2.2.c) Snížení VOC podpořeno celkem 53 projektů.

Uvedený sektor též mohl čerpat z podoblasti podpory OPŽP 2.2.a) Rekonstrukce spalovacích zdrojů s instalovaným výkonem větším než 5 MW za účelem snížení emisí NO_x, SO₂ a prachových částic (např.: instalace nízkoemisních hořáků, rekonstrukce spalovací komory, instalace technologie pro SNCR nebo náhrada původního kotle novým).

V této podoblasti bylo podpořeno v 1. programovém období OPŽP podpořeno 58 projektů.

4.7 Nejlepší dostupné techniky pro podporu z OPŽP a jejich dosažitelné emisní úrovně

Nejlepší dostupné techniky pro sektor chemického průmyslu a zpracování plastů, které by bylo vhodné podporovat z Operačního programu životní prostředí 2014 - 2020, lze zařadit:

4.7.1 Opatření na zdrojích energie

- náhrada stávajícího spalování pevných paliv za spalování plyných paliv;
- instalace odsíření při spalování pevných paliv;
- instalace nízkoemisních plynových hořáků ke snížení NO_x;
- instalace SNCR nebo SCR při spalování paliv;

4.7.2 Primární opatření k omezení emisí prachu

- užití cirkulačních procesů v systémech vzduchové potrubní dopravy;
- manipulace s materiálem v uzavřených systémech v podtlaku a odprašování nasávaného vzduchu;



4.7.3 Vybraná sekundární opatření k omezení emisí prachu

Suché mechanické odlučovače – cyklony a multicyklony

Účinnost cyklonů se udává 60-80%. Dobře provozovaný cyklon by měl být schopen udržet emise do hladiny 50 mg/m³, v náročných podmínkách do 75, případně do 150 mg/m³ TZL.

Tkaninové filtry

Účinnost: 85% až 95% odstranění TZL

Emisní úroveň dosažitelné technikami doporučenými k podpoře z OPŽP: 10 mg/m³, v náročných podmínkách do 25, případně do 50 mg/m³ TZL.

Meze aplikace: Tkaninové filtry se staví pro nejširší rozmezí průtoků od 500 po 250 000 m³/hod.

Náklady: viz příklad v kap. 4.4 – náklady na běžný tkaninový filtr o průtoku 15 000 m³/h mohou činit cca 2 mil. Kč

4.7.4 Vybraná sekundární opatření k omezení emisí VOC/pachových látek

Adsorpce na uhlíkových filtrech (nebo jiné adsorpční látce)

Účinnost: 60% až 85% odstranění VOC

Emisní úroveň dosažitelné technikami doporučenými k podpoře z OPŽP: 50 mg/m³, případně 75 mg/m³ TOC.

Meze aplikace: Uhlíkové filtry jsou většinou dimenzované na nižší průtoky vzduchu od 500 do 5000 m³/hod. Hodí se pro nízké nebo proměnlivé koncentrace VOC. Při vyšších koncentracích je jejich provoz (pokud jsou provozovány správně) ekonomicky náročný (výměny / regenerace náplně).

Náklady: na samotné uhlíkové filtry se obvykle pohybují od 0,5 do 3 mil. Kč. Tento odhad nezahrnuje instalaci/rekonstrukci vzduchotechniky a stavební náklady.

Termická/katalytická oxidace (rekuperativní, regenerativní)

Účinnost: od 95% do 99,9% odstranění VOC

Emisní úroveň dosažitelné technikami doporučenými k podpoře z OPŽP: 25 mg/m³, případně do 50 mg/m³ TOC.

Meze aplikace: průtoky kolem 5000 m³, pro vyšší průtoky se zařazuje koncentrátor. V případě likvidace pachových látek mohou být průtoky i násobně větší. Pro vyšší průtoky lze instalovat několik paralelních linek k omezení emisí. Katalytická oxidace je účinná a energeticky úsporná i pro nižší koncentrace VOC (0,1 – 1 (3) g/m³), termická oxidace se hodí pro vyšší koncentrace (nad 1 – 3g/m³).

Náklady: na běžné velikosti oxidačních jednotek (průtok kolem 5000 m³/h) se pohybují řádově mezi 5 až 10 mil. Kč. Pokud se do technologie zařazuje koncentrátor, mohou být náklady 10 až 20 mil. Kč. Další náklady sebou může nést i rekuperace tepla ze spalín k oxidační jednotky.

Rekuperace VOC kondenzací nebo vymražením je účinná pro vysoké koncentrace (pro kondenzaci při teplotách nad 0°C jsou to stovky gramů/m³) rozpouštědel při znovuvyužití rozpouštědel.

Hodí se spíše pro nižší koncentrace vzdušiny.

Výstupní koncentrace VOC po kondenzaci je většinou příliš vysoká a vyžaduje další koncovou techniku před vypuštěním vzdušiny do ovzduší (adsorpce, katalytická/termická oxidace, biofiltrace).

Biofiltrace má obvykle účinnost nad 90% odstranění VOC i pachových látek, a hodí se pro nižší nebo nepravidelné koncentrace VOC. Podle konstrukce lze použít pro nízké i velmi vysoké průtoky vzdušiny.



4.8 Souhrnné tabulky sekundárních (koncových) BAT

Dále jsou uvedeny **Souhrnná tabulka BAT pro snižování emisí VOC** (a znečišťujících látek způsobujících pachový vjem) a **Souhrnná tabulka BAT pro snižování emisí TZL**.

Tyto tabulky mohou sloužit mj. k indikaci nejvhodnější techniky BAT pro daný případ. Konečný návrh optimální techniky by však měl provést odborník – projektant s příslušnou kvalifikací nebo zástupce dodavatele technologií.

Ekonomické charakteristiky (které se podařilo dohledat) jsou uvedeny v kapitolách 4.7.3 a 4.7.4.

V případě technik k odstraňování TZL jsou uvedeny pouze techniky, o kterých je známo, že se používají při nakládání s chemickými látkami.

4.8.1 Souhrnná tabulka BAT pro snižování emisí VOC

Technologie	Vhodná vstupní koncentrace (mg/m ³)	Účinnost (%)	Emisní úroveň (mg/m ³)	Omezení využití
Zakoncentrace	0-1	60-95	50	Omezením je různá adsorbovatelnost různých látek a potřeba nízké teploty vzdušiny.
Adsorpce na aktivním uhlí	0-1	60-85	50 (75)	Omezením je teplota vzdušiny. Při zvýšení teploty aktivního uhlí (již nad 30°C) může dojít k desorpci. Dalším omezením je adsorbovatelnost různých látek, která se může velice lišit. Zejména pachové látky mohou mít velice nízkou účinnost adsorpce.
Přímá termická oxidace	0-100	96-99,9	10 (25)	Vysoká energetická náročnost při nízkých koncentracích.
Termická oxidace (rekuperativní, regenerativní)	1-10	96-99,9	10 (25)	
Termická oxidace katalytická	0,1-1 (3)	96-99,9	10 (25)	Omezením je citlivost katalyzátoru na katalytické jedy.



Kondenzace, kryogenní kondenzace	stovky g/m ³	60-90	stovky mg/m ³	Účinnost kondenzace je dána bodem varu látek a způsobem chlazení.
Biofiltr plošný, komorový	0-1	?? - 90	??	Účinnost biofiltrace nemusí být pro všechny znečišťující látky stejná (různá biodegradabilita).

?? - údaje nejsou dostupné

Zdroj informací: různé zdroje včetně vlastního šetření autora

4.8.2 Souhrnná tabulka BAT pro snižování emisí TZL.

Technologie	Účinnost (%)	Emisní úrovně (mg/m ³)	Omezení využití
Suché mechanické odlučovače – cyklon, multicyklon	60 - 80%	50 (75)	Relativně nízká účinnost, vhodné jako první stupeň odlučování
Mokré vírníkové odlučovače - hydrocyklon	90	25 (50)	Převod částic do kapaliny a nutnost dalších úprav kapaliny po odloučení – optimální při možnosti vracení do procesu
Látkové filtry (hadicové, kapsové)	90 – 99,9	25 (50)	Výsledek je závislý na velikosti odlučovaných částic a vlhkosti plynu.

Zdroj informací: různé zdroje včetně vlastního šetření autora



5 KONCOVÉ TECHNIKY K OMEZOVÁNÍ EMISÍ V CHEMICKÉM PRŮMYSLU

Vzhledem k rozmanitosti chemického průmyslu se v průřezu všech procesů objevují všechna dostupná koncová zařízení k omezování emisí, včetně speciálních a jedinečných.

5.1 Výběr technik snižování emisí odpadního plynu

Výběr technik snižování emisí odpadního plynu v závislosti na odstraňovaných znečišťujících látkách je uveden v následující tabulce:

Zápach							
Organické plyny nebo těkavé látky							
Anorganické plyny nebo těkavé látky							
Pevné organické částice							
Pevné anorganické částice							
Mokré materiály							
Suché materiály							
Techniky							
Zachycování tuhých znečišťujících látek (TZL)							
Odlučovač (pre)	X	X	X	X			
Cyklon (pre)	X	X	X	X			
Mokrý odlučovač pevných částic (FT)	X	X	X	X	(X)	(X)	
Elektrostatický odlučovač (FT)	X	X	X	X			
Textilní filtr (vč. keramického filtru) (FT)	X		X	X			
Dvoustupňový prachový filtr (pol)	X		X	X			
Absolutní (HEPA) filtr (pol)	X		X	X			
HEAF (pol)		X					
Aerosolový filtr (pre, pol)		X			(X)		
Úprava odpadního plynu							
Kondenzátor (pre)					(X)	X	
Kryokondenzace (pre, FT)					(X)	X	(X)
Mokrý pračka (voda) (FT)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Mokrý pračka (alkálie) (FT)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Mokrý pračka (alkalická oxidace) (FT)	(X)	(X)	(X)	(X)			X
Mokrý pračka (kyselina) (FT)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Termická oxidace (FT)				X		X	X
Katalytická oxidace (FT)						X	X
Flóra (FT)						X	X
Spalování odpadního plynu							
Nástřik suchého zásaditého sorbentu (FT)					X		
Polosuchá metoda nástřiku zásaditého sorbentu (FT)					X		
Mokrý vápenný vypírka (FT)					X		
SNCR (FT)					X		
SCR (FT)					X	(X)	
X: hlavní použití							



(X): vedlejší použití
(pre): převážně jako předupravovací zařízení
(FT): technika používaná jako finální technika úpravy
(pol): hlavně jako dokončovací technika
* Flóra může být použita pouze ve stavech nouze

5.2 Typické koncové techniky – omezování emisí TZL

Běžně používané odlučovače jsou v tabulce níže vytištěny tučně. Těmi se další text zabývá podrobně. Zřídka používané odlučovače jsou zmíněny pouze pro úplnost a jsou v dalším textu popsány stručně. Tak je tomu i ve vazbě na OPŽP, kde se předpokládá podpora spíše běžně používaných a odzkoušených koncových technologií.

Tabulka - Přehled druhů odlučovačů prachu

Druh odlučovače	Typ odlučovače	Použití
Suché mechanické odlučovače	usazovací komory, prašníky, žaluziové odlučovače	pro velmi hrubé částice (nejnižší odlučivost)
	cyklónové odlučovače (jednotlivé cyklóny, skupinové cyklónové odlučovače a multicyklóny)	pro hrubé prachy u roštových kotlů, předodlučovač hrubých příměsí před dalším stupněm odlučování (nízká odlučivost)
	suché rotační odlučovače	odsávací jednotky nižších výkonů
	vírové odlučovače s obvodovým zrychlením (typ Huriclone)	
	suché odlučovače se sypanou zrnitou vrstvou	pro nepříznivé provozní podmínky
Mokrý mechanické odlučovače	mokrý vířikové odlučovače	menší jednotky
	pěnové odlučovače	absorbéry (zachycují i plynné látky)
	mokrý odlučovače se zrnitou vrstvou	pro nepříznivé provozní podmínky
	mokrý hladinové odlučovače	použití v metalurgii
	mokrý odlučovače typu Venturi (osové nebo štěrbinové)	vysoká odlučivost, vysoká spotřeba energie
Elektrostatické odlučovače	mokrý rotační odlučovače	u odsávacích jednotek
	trubové elektrostatické odlučovače	u nás se nepoužívají
	horizontální komorové elektrostatické odlučovače	nejčastější použití v elektrárnách a u jiných velkých zdrojů, vysoká odlučivost
	vertikální komorové elektrostatické odlučovače	speciální případy
	mokrý elektrostatické odlučovače	speciální případy
Textilní (látkové) filtry	hadicové textilní filtry	pro nároky na nejvyšší odlučivost, běžně používají se u malých i velkých zdrojů
	kapsové textilní filtry	
	klínové textilní filtry	dnes se již nepoužívají

Při volbě techniky k odlučování TZL je třeba zejména brát v úvahu agresivitu odlučovaného prachu.



5.2.1 Suché mechanické odlučovače

Nejjednodušší odlučovače využívají gravitační, setrvačné a intercepční síly. Jsou vesměs konstrukčně jednoduché a nenáročné na obsluhu a údržbu. Samostatně použité však jen málokdy splňují dnešní vysoké nároky na výslednou odlučivost a nízké emise. Proto se používají v provedeních využívajících kombinaci několika principů popř. spolu s jiným druhem odlučovačů. Zejména slouží jako předodlučovače hrubých částic, např. k záchytu suků a třísek v dřevozpracujícím průmyslu.

Usazovací komory

Nejjednodušším druhem odlučovače je usazovací komora, u níž se k odvádění tuhých částic z proudu plynu využívá gravitační síly. Jejich odlučivost je malá a potřebný obestavěný prostor neúměrně velký, proto se jich dnes už používá jen výjimečně.

Prašníky

Zdokonalením funkce usazovacích komor vznikly prašníky nejrůznějšího konstrukčního provedení, u nichž byla kromě tíže využita k odlučování i síla setrvačná.

Žaluziové odlučovače

Žaluziové odlučovače rovněž využívají setrvačných sil. Patří k nejjednodušším odlučovačům, nenáročným na prostor a na investiční i provozní náklady a uplatňují se dodnes v řadě provozů (nejčastěji jako předodlučovače např. pro snižování koncentrace prachu před elektrickým odlučovačem a pro hrubší prachy). Při dobrých provozních podmínkách a vhodném konstrukčním provedení dosahují odlučivosti 60 až 80 % i více. V žaluziovém odlučovači je prach odváděn ke stěně, odkud se musí s částí plynu odsávat a pak z něj odloučit v dalším odlučovači, nejčastěji cyklónu. Ten je však dimenzován na podstatně menší část (např. 10 %) z celkového průtočného množství plynu.

Cyklónové odlučovače

Cyklónové odlučovače nebo obecněji vírové odlučovače jsou dnes používány v nejrůznějších konstrukčních provedeních.

Jako samostatných odlučovačů při požadované vyšší odlučivosti a pro velká průtočná množství plynu se dnes již cyklónových odlučovačů používá řidčeji. Zato se stále více uplatňují v takových provozních podmínkách, kde nelze použít ostatní druhy odlučovačů nebo kde se příliš neosvědčily buď funkčně, nebo po stránce provozní spolehlivosti. Jsou to např. kamenolomy, obalovny živických směsí, v dřevařském průmyslu aj.

Cyklónové odlučovače plní nejrozmanitější a často i protichůdné požadavky, např. spolehlivě pracovat a trvale dosahovat optimální odlučivosti při proměnlivých provozních podmínkách bez nároků na obsluhu a údržbu. Musí být odolné proti abrazi, vysokým teplotám, zanášení a zalepování u lepivých prachů, musí obsahovat jištění proti výbuchu u hořlavých prachů, zabírat co nejméně místa apod. Vyrábí se z různých materiálů, z oceli, pro potravinářský průmysl z nerez, pro abrasivní prachy z čediče, aj.

Ze základních druhů cyklónů jsou nejúčinnější cyklóny s tečným vstupem a dále osové cyklóny s vratným nebo s přímým tokem.

Jelikož zvětšováním průměru cyklónů se zmenšuje odstředivá síla působící na částice, a tím i odlučivost cyklónu, není výhodné používat pro velké průtoky cyklónů velkého průměru. Obvykle se volí cyklóny o průměru 150 mm až 630 mm, pro méně náročné provozní i o průměru 1600 až 2500 mm.

Pro velká průtočná množství čistěného plynu se větší počet cyklónů sestavuje do paralelně zapojených soustav. Rozeznávají se

a) *jednotlivé cyklóny*. tj. samostatný cyklón nebo dvojice cyklónů obvykle o průměru od 500 do 2500 mm.



- b) *skupinové cyklónové odlučovače*, kde je na společném sběrači prachu nejčastěji v kruhovém uspořádání paralelně zapojeno 4 až 16 cyklónů, obvykle o průměru 500 až 1600 mm,
c) *mnohočlánkové cyklónové odlučovače (multicyklóny)* s šesti až mnoha sty cyklóny o průměru od 160 do 630 mm, uspořádanými ve skříni.

Rotační odlučovače

U nás se rotační odlučovače téměř nevyskytují, ale v zahraničí jsou obvyklé pro jednotkové odlučování, např. ve slévárnách. Kromě odstředivé síly se u nich využívá i síly Coriolisovy. Rozeznávají se dva druhy rotačních odlučovačů: odstředivkový typ a ventilátorový typ.

Vírové odlučovače s obvodovým zrychlením

Pro zdokonalení odlučovacího pochodu v cyklónu se používá odlučovač typu Huriclon. Podle funkce jej lze nazývat vírový odlučovač s obvodovým urychlením nebo také proti proudový vírový odlučovač. Jde v podstatě o cyklónový odlučovač, do jehož válce jsou zavedeny trysky sekundárního plynu, skloněné obvodově ve směru rotace plynu a axiálně směrem k výsypce (proti postupnému proudění plynu). Tyto trysky mají urychlit vnější obvodovou vrstvu plynu s prachem a zároveň ji usměrnit k výsypce, a tak zintenzívnit odlučovací pochod právě v jeho závěrečné části v blízkosti stěny odlučovače.

Suché odlučovače se zrnitou vrstvou

"Staronovým" druhem odlučovačů jsou odlučovače se sypanou zrnitou vrstvou, označované též jako filtr se sypanou granulační vrstvou. V poslední době se tento již dlouho známý druh odlučovačů začal v zahraničí hojně používat. Hodí se svými provozními vlastnostmi zejména pro cementárny. Sypaná vrstva zrnitého materiálu (např. písku a keramické drtě) nebo přímo technologické suroviny (např. slínku), se osvědčila jako filtrační materiál vhodný pro méně příznivé provozní podmínky a pro vysoké teploty. Těchto odlučovačů lze používat až do teploty 500 °C při velkém rozsahu průtoků od malých až přes několik set tisíc krychlových metrů za hodinu.

5.2.2 Mokrý mechanický odlučovač

Mokrý vírníkový odlučovač

Mokrý mechanický odlučovač byly vyvinuty ze suchých ve snaze o zlepšení odlučivosti pro jemné prachy a o zlepšení funkční spolehlivosti při odlučování vlhkých a lepivých prachů. Proto se také z počátku pouze rozprašovala voda do běžných suchých mechanických odlučovačů, ať už to byly různé prašníky, z nichž vznikaly tzv. skrubry (z angl. scrubber = pračka), nebo cyklóny či multicyklóny, z nichž rozprašením vody vznikaly mokré vírové či vírníkové odlučovače.

Mokrý odlučovač dosahují vysoké odlučivosti i pro jemné prachy. Navíc vzhledem ke styku plynu s kapičkami vody, vodní vrstvou, clonou nebo hladinou, dochází i k částečnému zachycení některých plyných škodlivin, např. kyslíčnku siřičitého, absorpcí plynu v kapalině. Nevýhodou pak ovšem je značná agresivita kalu.

Mokrý odlučovač nejsou přes své četné přednosti příliš rozšířeny. Příčinou je jednak zvýšené nebezpečí koroze materiálu nejen vlastních odlučovačů, ale i dalších částí vzduchotechnického zařízení.



Mokré pěnové odlučovače

Odlučování v tzv. pěnových odlučovačích probíhá ve vrstvě vodní pěny (přesněji ve zčeřené vodní vrstvě), vznikající prosáváním čištěného plynu směrem zdola nahoru skrze děrované patro, na něž se přivádí voda. Pro zvýšení odlučivosti se pěnové odlučovače stavějí vícepatrové a lze u nich odlučovací účinek prachů vhodně kombinovat i s absorpcí některých plynných škodlivin, obsažených v čištěném plynu.

Mokré odlučovače se zrnitou vrstvou

Aby se zlepšila funkce pěnových odlučovačů, obsahují na děrovaných patrech vrstvu tělísek, nejčastěji kulových, a tak vzniká obdoba suchých odlučovačů se zrnitou vrstvou ("s náplní" nebo "s tělísky"),

Mokré hladinové odlučovače

Proudem čištěného plynu a rozdílem tlaků je stržena voda z otevřené hladiny do štěrbin vytvářející profil S, kde se mísí s procházejícím čištěným plynem.

Mokré odlučovače typu Venturi (osové a štěrbinové)

Funkce mokrých proudových odlučovačů spočívá v intenzivním srážení vody a plynu s prachovými částicemi ve Venturiho trysce, kterou prochází čištěný plyn se značným zrychlením.

Mokré rotační odlučovače

V rotačních odlučovačích je často rozstříkována voda. Vznikají tak mokré rotační odlučovače, které jsou rozšířeny především v zahraničí.

5.2.3 Elektrostatické odlučovače

Elektrostatické odlučovače horizontální komorové

K elektrostatickému odlučování dochází působením koronového výboje o stejnosměrném napětí 30 000 až 60 000 V mezi vysokonapěťovými nabíjecími a uzemněnými sběrnými elektrodami.

Konstrukčně se elektrické odlučovače skládají z těchto částí:

- a) Vlastního elektrického odlučovače (skříňe odlučovače, vysokonapěťových nabíjecích elektrod s malým poloměrem zakřivení - drátů různého profilu, uzemněných sběrných elektrod plochých nebo s velkým poloměrem zakřivení trub nebo desek, popř. různě profilovaných, oklepávacího zařízení a výsypek).
- b) Usměrňovací stanice - zdroje stejnosměrného proudu o vysokém napětí (usměrňovací zařízení se skládá z rozvaděče, regulačního a vysokonapěťového transformátoru, vlastního usměrňovače, rozvodu vysokého napětí, měřicích přístrojů a jisticích zařízení, dále větrání a vytápění usměrňovací stanice).
- c) Příslušenství elektrického odlučovače (jsou to uzávěry výsypek, odvod zachyceného prachu, přechodové vstupní a výstupní části odlučovače obvykle s usměrňovacími a vodicími plechy - stěnami nebo příčkami).

Plyn s prachem vstupuje do elektrostatického odlučovače značně sníženou rychlostí a prostupuje mezerami mezi nabíjecími a usazovacími elektrodami. V první fázi dochází k elektrickému nabití všech hmotných částic, ve druhé fázi jsou nabitě částice odváděny v silném elektrickém poli z plynu ke stěnám vytvořeným z usazovacích elektrod. Ve třetí fázi je prach z usazovacích elektrod odveden do sběrače prachu, a to nejčastěji mechanickým oklepáváním elektrod.



Elektrostatické odlučovače vertikální a trubkové

Vyrábějí se však i elektrostatické odlučovače vertikální a kromě komorových i odlučovače trubkové pro odlučování dehtu a olejů, u nichž nabíjecí elektroda je vedena středem kruhového potrubí a odlučovací prach se usazuje na jeho stěně.

Elektrické odlučovače se vyrábějí jako suché a vlhkost někdy způsobuje funkční závady. Přesto se pro zvláštní případy a provozy konstruují i elektrické odlučovače mokré.

5.2.4 Látkové filtry

Hlavním problémem látkových filtrů je volba vhodné látky, její naskládání se zřetelem na úsporu místa a její čištění za provozu filtru.

Odlučivost látkových filtrů je vysoká (přes 99,5 %) i pro jemné prachy a závisí zejména na druhu látky a na provozních podmínkách. Průtočná rychlost čistěného plynu, vztažená na celkovou plochu látky, je malá - řádově v cm/s, z čehož vychází potřeba značné filtrační plochy látky, a tím i nutnost jejího úsporného naskládání. Tlaková ztráta je obvykle v rozmezí od 1 do 1,5 kPa.

Konstrukčně se látkové filtry řeší jako skříně, v nichž je různým způsobem uložena látka. Základní způsob práce je přetržitý - dochází ke střídavému zanášení a čištění filtrační látky. Filtrační látka se může čistit buď za krátkodobého vyřazení odlučovače nebo jeho sekce z provozu, nebo za provozu. Při krátkodobém vyřazování je třeba rozdělit látkový filtr do několika komor (sekcí), z nichž se postupně jedna po druhé vyřazují na krátký čas z odlučovacího procesu a čistí se.

Podle způsobu skládání látky se látkové filtry dělí na hadicové (rukávové) a kapsové (plachetkové). Hadicové provedení je nejstarší a dosud nejrozšířenější i provozně nejspolehlivější. Hadice dosahují délky až 10 m.

Novější uspořádání je použito u kapsového filtru. Naskládání tkaniny do kapes nebo výhodnější z hlediska úspory místa (půdorysné plochy i obestavěného prostoru) než provedení hadicové, které jsou méně náročné na obsluhu a údržbu.

Zaprášená filtrační látka se čistí různým způsobem; např. oklepáváním jako u elektrických odlučovačů. Někdy se používá prolamování látky nebo zpětného profuku.

Mechanické oklepávání, které u tuhých elektrod v elektrických odlučovačích postačuje, se u pružných látkových hadic většinou musí doplnit zpětným profukem, který vyžaduje přetržitý provoz jednotlivých sekcí látkového filtru. Prolamování látky se provádí buď mechanicky pojízdným drátěným rámem, jímž se hadice postupně deformují ve dvou na sebe kolmých směrech, nebo může být provedeno pojízdnými prstenci se vzduchovými tryskami, kdy nedochází k mechanickému prolomení hadice, ale k využití tlaku zpětně profukovaného vzduchu. Při zpětném profuku se u některých provedení využívá ejekčního účinku tlakového vzduchu vypouštěného z trysky do vhodně konstruovaného ejektoru, čímž se několikanásobně zvýší profukované množství stržením okolního vzduchu.

Látky pro tyto filtry se vyrábějí nejrůznější technikou a z různého materiálu. Mohou být tkané, pletené, vrstvené (FIRON) nebo vpichované (FINET).

Pro látkové filtry jsou vyráběny látky

- a) velmi hladké (z dlouhých rovných syntetických nebo skleněných vláken),
- b) hladké (bavlněné, vlněné nebo ze syntetických vláken),
- c) mírně vyčesané (s vlasem),
- d) silně vyčesané.

Vlastnosti látky podstatně ovlivňují odlučovací proces i jeho ekonomii. Je to zejména odolnost proti opotřebení, teplotě i rázům při znečištění, což souhrnně představuje životnost látky. Další podstatnou vlastností je odlučovací schopnost, provozní tlaková ztráta a odolnost proti zanášení. U hladkých látek dochází při zanášení k pozvolnějšímu růstu tlakové ztráty, neboť filtrační tloušťka této látky je podstatně



větší. Proto je také jímavost prachu u vyčesaných látek podstatně vyšší než u látek hladkých. Z hlediska čištění jsou však naopak výhodnější látky hladké, z nichž se zachycený prach snadněji odstraní. Důležitou součástí filtračních zařízení jsou filtrační prvky. Obvykle se jedná o hadice nebo o kapsy. Podle charakteru odsávaného plynu, především jeho teploty a chemického složení, je zvolen nejvhodnější filtrační materiál.

Tabulka: Základní filtrační materiály (www.filtex.sk).

Vlákno	Označení	Provozní / špičková teplota ve °C	Odolnost proti hydrolyze	Odolnost proti kyselinám	Odolnost proti alkáliím	Odolnost proti oxidaci	Odolnost proti rozpuštědlům
Polypropylen	PP	91 / 100	1	1	1	4	2
Polyester	PES	150 / 150	4	3	4	2	3
Polvinylchlorid	PVC	75 / 80	1	1	1	2	3
Polyamid	PA	110 / 115	4	3	2	3	2
Polyakrylnitril Homopolymer	hom.PAN	120 / 130	2	2	3	2	2
Polyakrylnitril Kopolymer	cop.PAN	110 / 115	2	3	3	2	2
m-Aramid	NOMEX	200 / 220	2	3	3	2	1
Polyphenylensulfid	RYTON	190 / 200	1	1	1	3	1
Polymid	P84	240 / 260	2	2	3	2	2
Polytetrafluorethylen	PTFE	250 / 280	1	1	1	1	1
Sklo		250 / 280	2	2	3	1	1

Vlastnosti filtračních materiálů v tabulce jsou hodnoceny stupněm od 1 do 4, přičemž hodnota 1 znamená odolnost výbornou a hodnota 4 velmi špatnou. Vlastnosti filtračních materiálů lze zlepšit pomocí různých povrchových úprav a impregnací.

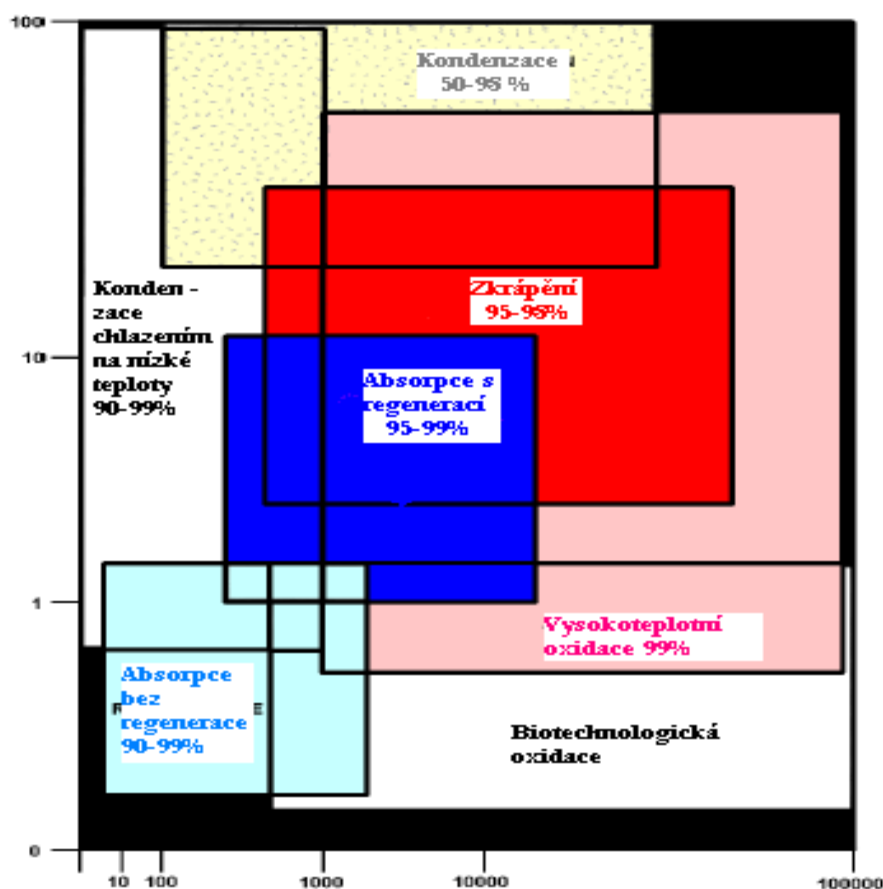


5.3 Typické koncové techniky – omezování emisí VOC

5.3.1 Volba postupu omezování emisí VOC

V tabulce níže je uveden přehled předností a nedostatků jednotlivých postupů omezování emisí VOC, na obrázku pak jsou uvedeny kombinace průtoků a koncentrací, které rozhodují o výhodnosti aplikace jednotlivých metod. Tabulka i obrázek mohou sloužit jako výchozí bod pro výběr metody. Cílem jejich sestavení nebylo jednoznačně určovat, která metoda by měla být použita.

Problém	Izolace a opětovné použití			Postupy destrukce		
	Adsorpce	Konden- zace	Absorpce	Tepelná oxidace	Kataly- tická oxidace	Biologická oxidace
Uhlovodíky	D	E	B-D	A	A	A-C
Halogenderiváty a sirné sloučeniny	D	E	A	B	D	C-E
Aminy a deriváty	D	E	C-D	C	C	B-C
Kondenzující uhlovodíky (1)	A	A	B-C	A	A	A-C
Kondenzující halogenderiváty a sirné deriváty	A	A	A-B	B	D	C-E
Kondenzující deriváty aminů	A	A	B	C	C	A-C
Kontinuální průtok	A	A	A	A	A	A
Vsádkový proces nebo proměnný průtok	A	A	A	D	D	A
Účinnost odstranění	B	C	A	B	C	A-B
Tlaková ztráta	C	B	B	A	C	A
Získání VOC	B	A	B	E	E	E
Klíč: A - výborný, B - dobrý, C - uspokojivý, D - neuspokojivý, E nepřijatelný (1) Kondenzující označuje schopnost kondenzovat na kapalinu při realisticky dosažitelných teplotách						



5.3.2 Zakoncentrace

Odsávání velkého objemu vzdušiny s nízkým obsahem rozpouštědla zvyšuje velikost systému pro snižování emisí, a zvyšuje potřebnou investici do systému, i potřebné množství energie, např. v podobě množství podpurného paliva při spalování.

Zakoncentrace čili zvýšení koncentrace VOC v odpadních plynech je u některých technologií, např. tiskařských strojů, nedílitelnou součástí strojů. U jiných strojů lze uzavřený vzduchový cyklus za účelem zvýšení koncentrace vytvořit, znásobit, resp. uzavřít.

Jinou možností adsorpce (viz níže) kdy z velkého množství vzdušiny jsou VOC adsorbovány do vhodné látky a následně desorbovány menším množstvím vzduchu (s vyšší koncentrací VOC). K tomu se hodí jak adsorbéry s aktivním uhlím, tak zeolitové rotační koncentrátoři.

5.3.3 Absorpce (absorbéry)

Absorpce je pochod, při němž je plynná složka, odstraňovaná z čistěné plynné směsi, pohlcována vhodnou kapalinou. Převod hmoty z plynu do kapaliny se uskutečňuje difúzí. Podmínkou sdílení hmoty mezi oběma fázemi je, že nesmějí být v rovnovážném stavu, tj. koncentrace odstraňované složky je větší v plynné fázi než ve fázi kapalné. Plynnou směs, z níž chceme absorpcí oddělit určitou složku, přivedeme do kontaktu s absorbující látkou. Pohlcovaná složka přechází z čistěného plynu ve směru nižší koncentrace. Absorbující látka musí být dostatečně selektivní, aby pohlcovala pokud možno pouze složku, kterou je třeba odstranit a ke zbývajícím plynné směsi byla inertní.



Rychlost absorpce je ovlivňována různými faktory, především tlakem a teplotou. Se stoupajícím tlakem rychlost absorpce vzrůstá. Závislost na teplotě je většinou velmi významná, absorpce probíhá lépe za nižších teplot.

Lze konstatovat, že absorbéry představují velmi účinné odlučovače pro škodliviny, v oblasti VOC je nutné je aplikovat velmi obezřetně. Prací médium je nutno volit s ohledem na škodliviny, které hodláme zachytit. Pro komplikovanější směsi organických škodlivin je použití velmi omezeno.

Tento princip se více než k odstranění VOC používá k odstranění TZL nebo anorganických plynů ze vzdušiny (tzv. mokrá pračka plynů).

Nejčastější problémy:

Nesprávná koncentrace pracího média. Pro pachové látky se užívají např. peroxid vodíku, chlorečnany apod. Nesprávné (většinou nedostatečné) dávkování je poměrně častou závadou, jde o hrubé porušení předpisů.

- Nesprávné pH.
- Nedodržování provozních teplot.
- Nesprávný nátok pracího média. Nesprávná výška „pěny“ u pěnových absorbérů.
- Překračování doby životnosti pracího média.
- Koroze celého zařízení.
- Ucpávání celého systému nebo jeho částí.
- Někdy přenášení problému do oblasti ochrany vod.

Pro mnoho aplikací jde o BAT, většinou v kombinaci s jinou metodou. Často nejde o destruktivní metodu a látky je možno znovu získat.

5.3.4 Adsorpce (adsorbéry)

Adsorpci nazýváme difúzní pochod, při němž dochází ke zvýšení koncentrace plynné nebo kapalně látky na fázovém rozhraní jejím vázáním na povrchu vhodné tuhé nebo kapalně látky.

Adsorpce může probíhat tak, že se molekuly adsorbované látky zachycují na povrchu tuhé látky působením van der Walsových sil při teplotě vyšší, než je teplota kondenzace. Mezi molekulami adsorbované látky a adsorbentu přitom nenastává chemická interakce ani se nevytváří chemické vazby. Takový pochod se nazývá fyzikální adsorpce. Povrch tuhé látky se při ní pokrývá vrstvou molekul adsorbované látky, přičemž může dojít k pokrytí povrchu adsorbentu mnoha vrstvami molekul adsorbované látky. Fyzikální adsorpce probíhá nejčastěji velmi rychle a vybavuje se při ní teplo, které se většinou rovná 1.5 až 2 násobku tepla kondenzačního. Vázanou látku lze snadno opačným pochodem (desorpcí) uvolnit (např. snížením tlaku nebo zvýšením teploty), adsorpční hmotu znovu využít v cyklickém procesu a uvolněnou látku dále zpracovávat nebo přímo využívat.

Pro větší zařízení (lakovny, tiskárny, chemický průmysl, rafinerie apod.) je řešením jednoznačně cyklicky provozované zařízení, které má nejméně 2 reaktory s vrstvou náplně sorbentu a regeneraci jako součástí zachytu.

Pro větší množství vzdušiny je ideální pomocí sorbentu škodliviny zakoncentrovat a poté desorbovat a zpracovat či zlikvidovat jinou metodou (dopalování, vymrazování apod.).

Správně navržené adsorpční zařízení představuje typického reprezentanta BAT. Koncové emise mohou být velmi nízké.

Nejčastější problémy:

- Nesprávně navržená jednotka. Patrony s aktivním uhlím, které se cyklicky obměňují, ale provozovatel to neprovádí.
- Nesprávně navržená jednotka, tenká vrstva uhlí, vysoké rychlosti prostupu.
- Nedodržování provozních teplot. Dochází k desorpci. Navíc při stoupnutí teploty může dojít k požáru.



- Překračování doby životnosti sorbentu. Dojde k destrukci a někdy následně k překročení limitu tuhých škodlivin.
- Ucpávání celého systému nebo jeho částí a následný vznik zkratkovitého toku. V lakovních částech NH zalepí celý systém.
- Polymerace škodliviny na sorbentu a prudké snížení zachytu.
- Při desorpci parou odchází část škodliviny do vody, přenášení problému do jiné složky.

5.3.5 Kondenzace

Pro odlučování některých exhalací ve formě par, unikajících z technologických procesů, lze s úspěchem použít metodu kondenzace par, tj. odloučení větší části par škodliviny ochlazením pod rosný bod dané látky. Zbytkový obsah par po kondenzaci závisí především na teplotě a tlaku plynné směsi. Čím je teplota při kondenzaci nižší a tlak vyšší, tím je zbytkový obsah par v čištěném plynu menší. Proto je výhodné čištěný plyn před kondenzací ochladit. K dostatečnému ochlazení a k dosažení teploty, která zaručuje vysoký stupeň odloučení škodliviny, často postačí chlazení vodou - pro hlubší ochlazení se obvykle používá solanka. Účinné je též použití tlaku pro zmenšení konečného obsahu par ve vyčištěném plynu. Je výhodné, lze-li využít zdroje tlaku, který je v závodě k dispozici pro potřebu jiného technologického procesu.

Nejčastější problémy:

- Nesprávně navržená jednotka. Chladicí výkon je nedostatečný.
- Nedodržování provozních teplot.
- Ucpávání celého systému nebo jeho částí „ledem“. Dochází k tomu tam, kde nebyla věnována pozornost vlhkosti.
- Koncové emise jsou relativně vysoké.

5.3.6 Termická oxidace

V řadě emisí z průmyslu jsou v odplynech obsaženy uhlovodíky a jiné organické látky, které lze spálením převést na oxid uhličitý a vodu, případně další z hygienického hlediska nezávadné zplodiny. Podmínkou je, aby spálení bylo dokonalé. To závisí na teplotě, při níž spálení probíhá. I při značném zředění lze spalitelné plyny a páry s dostatečným přebytkem vzduchu dokonale spálit při teplotách okolo 700-800 °C. Aby směs plynů se vzduchem byla schopna hoření, musí mít výhřevnost nejméně 1680 kJ/m³ (0 °C, 101,32 kPa), jinak se buď musí přehřívat na teplotu spalování, nebo se k ní při malém obsahu výhřevné složky musí přidávat palivo, popř. je nutno použít spalování katalytické (viz. dále). Přebytek vzduchu při spalování má být nejméně 2-3 % obj., aby nedokonalým spalováním nevznikaly v důsledku polymerace uhlovodíků saze. Tvorbu sazí také omezuje přídavek páry. Pro dosažení stability plamene je nutné rovnoměrné promíšení spalovaného plynu se vzduchem.

Jsou dva základní typy termicko-oxidačních jednotek:

- regenerativní
- rekuperativní

Nejčastější problémy:

- Nesprávně navržená jednotka. Krátká doba kontaktu.
- Nedostatečná teplota v reaktoru.
- Obtok by-passem.
- Doparování škodlivin s obsahem halogenů. Je velmi nesprávné používat doparování tam, kde jsou používány látky s obsahem halogenů. Pokud nenásleduje vypírka, jde o stav velmi



nebezpečný. Navíc přítomnost chloru může způsobit vznik dalších škodlivin. Halogenované látky je lépe zneškodňovat jiným principem.

- Neseřízené hořáky.
- Problémy s tuhými emisemi. Při emisním limitu 3 mg/m^3 je někdy obtížné limit dodržet.

Dopalování je BAT pro mnoho zdrojů, ale vnáší do emisí spaliny, které mohou co do množství emise znásobit. Rozhodně by mělo být posouzeno, zda není možné další využití rozpouštědla.

Termické dospalování není tak citlivé na vstupy a jejich kolísání v množství či složení.

5.3.7 Katalytická oxidace

Při malé koncentraci spalitelných látek (pod mezí zápalnosti) nebo v případech, kdy je pro spalování nutné přehřát plyn na teplotu cca 800°C , je výhodné a hospodárné použít katalytické spalování. Oxidační katalyzátory zajistí dostatečně rychlý a kvantitativní průběh spalovacích reakcí i při poměrně nízkých teplotách neboť spalování na katalyzátoru je bezplamenné a není vázáno na zápalnou teplotu. Technicky vyhovující rychlostí probíhá katalytické spalování již při teplotách $250\text{--}400^\circ\text{C}$. Při dnešní kvalitě katalyzátorů začíná spalování běžně při 250°C a při 300°C již jeho účinnost dosahuje 90 % a při teplotách $350\text{--}400^\circ\text{C}$ se dosahuje účinnosti až 99 %.

Katalyzátory jsou nejčastěji buď kovy v elementární formě nebo jejich oxidy nebo soli nanesené na inertním nosiči. Nejčastěji se používá platina, paládium a další kovy platinové skupiny, dále železo, chrom, kobalt, nikl, vanad, měď, molybden apod. Katalyzátory jsou citlivé na přítomnost některých látek ve spalovaném plynu, které se projevují jako katalytické jedy. Nelze je proto používat univerzálně. Chemickými vlivy škodí katalyzátorům především halogeny, které způsobují tvorbu těkavých chloridů nebo další chemické látky, které způsobují vznik neúčinných sloučenin. Dále škodí katalyzátorům vysoká teplota. Většinou se pro trvalý provoz zařízení jako horní mez provozní teploty udává hodnota $830\text{--}850^\circ\text{C}$. Krátkodobě může ovšem teplota dosáhnout i 1000°C , aniž dojde ke znehodnocení katalyzátoru.

Jde o koncovou technologii s velmi nízkými výstupy, jedná se o BAT pro mnoho aplikací. V praxi často selhává pro provozní nekážeň.

Nejčastější problémy:

- Nesprávně navržena jednotka. Krátká doba kontaktu.
- Nedostatečná teplota v reaktoru nebo příliš vysoká teplota.
- Katalyzátory jsou velmi citlivé na zatížení, obsah katalytických jedů, apod.
- Dopalování škodlivin s obsahem halogenů. Je velmi nesprávné používat dopalování tam, kde jsou používány látky s obsahem halogenů. Pokud nenásleduje vypírka, jde o stav velmi nebezpečný. Navíc přítomnost chloru může způsobit vznik dalších škodlivin. Halogenované látky je lépe zneškodňovat jiným principem.

Mělo by být posouzeno, zda není možné další využití rozpouštědla.

5.3.8 Biotechnologie – biofiltrace vzduchu

Úvod

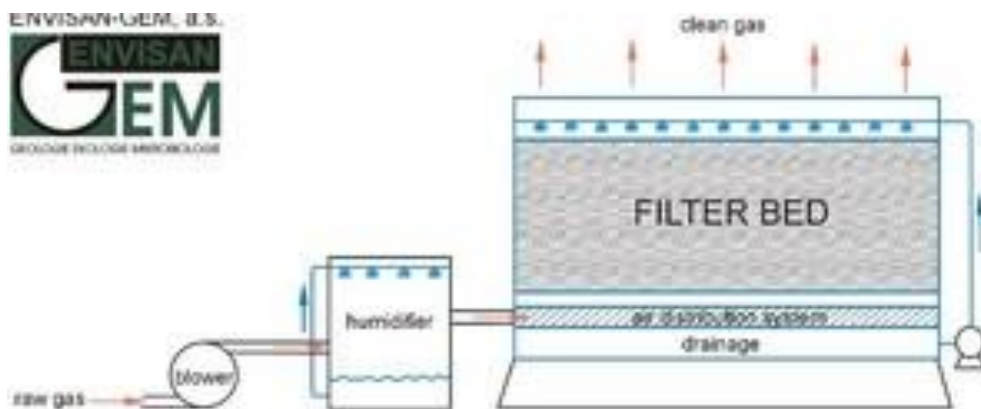
Biofiltrace vzduchu je poměrně stará technologie, která však vzhledem k jejímu zdokonalování, inovacím a také nízkým provozním nákladům, se stává stále častěji používanou pro eliminaci těkavých organických látek, zápachových látek i některých anorganických polutantů. Biofiltrace je ekonomickou a účinnou metodou především pro odstraňování nízkých koncentrací škodlivých a nežádoucích látek z odpadních plynů.

Co je biofiltr

Biofiltrace je čištění vzduchu založené na využití mikroorganismů k rozkladu nebo biotransformaci organických polutantů nebo zápachových látek. Mikroorganismy (nižší houby, bakterie, kvasinky) využívají organické látky většinou jako zdroj energie pro svůj růst a rozmnožování a běžně se vyskytují v půdě nebo v rozkládajícím se rostlinném materiálu. Biofiltry jsou zařízení, ve kterých jsou regulované podmínky a kde dochází ke styku organických polutantů nebo zápachových látek s mikroorganismy, které je mohou využívat jako zdroj energie. Konečnými produkty při úplné oxidaci organických látek jsou oxid uhličitý, voda a mikrobiální biomasa a současně se uvolňuje teplo. Někdy dochází pouze k biotransformaci molekuly polutantu, takže ztratí své negativní vlastnosti, ale není úplně mineralizována. Některé anorganické polutanty a současně zápachové látky jsou biologicky oxidovány (například sirovodík na síran, amoniak na nitrit a nitrát) na jiné anorganické látky, které však nemají nežádoucí vlastnosti. Průchod kontaminovaného vzduchu biofiltrem musí zaručovat snížení koncentrace polutantů na požadované výstupní limity.

Tradiční biofiltry byly většinou velkoplošné. Biofiltrační lože bylo tvořeno jednou vrstvou kyprého organického materiálu (rašelina, kompost, vřes, kůra) s mocností do 1 m. Na povrchu těchto materiálů jsou imobilizovány mikroorganismy. Tato zařízení měla obtíže s čištěním vyšších nebo kolísavých koncentrací polutantů a velký půdorys zařízení zvyšoval (někdy až neúnosně) investiční náklady nebo je neumožňoval umístit do průmyslových závodů s omezenou volnou plochou pro jeho stavbu.

Biofiltry nové generace využívají filtrační lože s novým složením, které nejenže zvyšuje odbourané množství polutantu v jednotce objemu náplně, ale umožňuje i regulaci pH, má lepší schopnost zadržovat vodu, umožňuje lepší distribuci živin, mají větší specifický povrch a pod. Často se používají i další podpůrná opatření: vzduch vstupující do biofiltru je upravován tak, aby měl dostatečnou vlhkost a stálou teplotu. Tato opatření vedla k několika násobnému zvýšení specifického objemového zatížení a podstatnému zmenšení objemu zařízení. Schéma biofiltru s pevným ložem je na obrázku níže.



Schématický diagram typického systému využívající technologii ENVI-BIOF

Kromě biofiltrů s pevným ložem se pro některé druhy polutantů začaly konstruovat náplňové biofiltry se zkrápěním, tzv. „trickling filtry“. Náplň je tvořena inertními materiály jako je zeolit, umělohmotné prvky, aktivní uhlí, umělohmotné vestavby a podobně. Náplň se zkrápí vodou nebo roztokem živin, popřípadě střídavě. Na povrchu částic náplně nebo vestavby se v průběhu doby vytvoří biofilm, ve kterém probíhá biologický rozklad nebo transformace polutantů či zápachových látek. Tato zařízení mají větší specifickou odbourávací kapacitu než klasické biofiltry, avšak pouze pro některé polutanty. Schéma zkrápěného biofiltru je na obrázku níže.

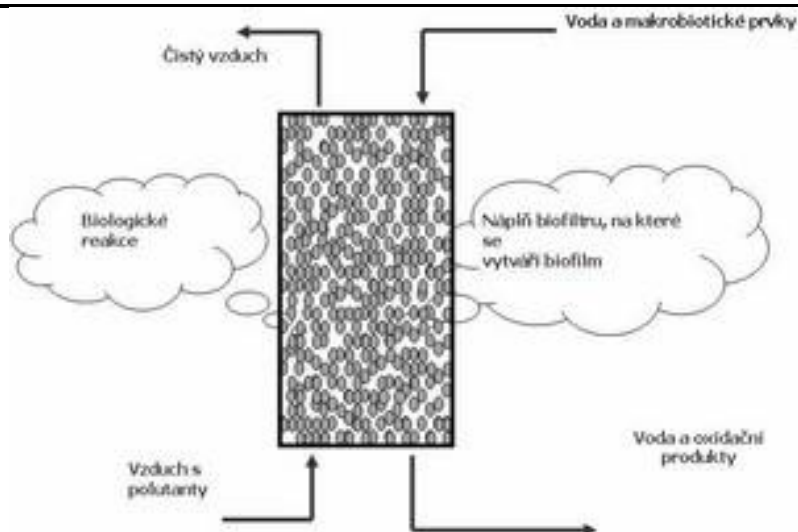


Schéma náplňového biofiltru se zkrápěním

Princip biofiltrace

Vzduch vstupující do biofiltru obsahuje molekuly organických polutantů nebo zápachových látek. Tyto molekuly se sorbují na povrchu biofilmu, který se vytváří na pevných částicích náplně. Biofilm je tvořen převážně bakteriemi, obsahuje však i nižší houby, prvoky a bezobratlé. Prvoci a bezobratlí se zpravidla živí bakteriemi a nižšími houbami. Odstraňování polutantů je několikastupňový proces. Prvním krokem je rozpouštění molekul polutantu ve vodě, následuje transport molekuly biofilmem k bakteriální buňce a transport molekuly přes buněčnou membránu do bakterie, kde dochází k samotnému metabolismu a rozkladu polutantu. Získaná energie oxidací polutantu se využívá v buňce k syntéze buněčné hmoty a rozmnožování.

Biofiltry odstraňují z odpadního vzduchu těkavé organické a anorganické sloučeniny, které jsou škodlivé lidskému zdraví či životnímu prostředí svými vlastnostmi nebo látky, které svým zápachem obtěžují okolí místa vzniku.

Biofiltry lze využít pro eliminaci organických těkavých polutantů a zápachových látek v nízkých koncentracích. Obecně se uvádí hranice do 1000 ppm objemových, provozně však pracují biofiltry se vstupními koncentracemi až 5000 ppm objemových. Reálná vstupní koncentrace polutantů závisí ve většině případů na druhu polutantu, jeho biologické odbouratelnosti a konkrétních ekonomických podmínkách. Při vyšších koncentracích polutantů (zhruba nad 1500 až 2000 ppm objemových) se stávají konkurenční metody (termická a katalytická oxidace, oxidace indukovaná UV světlem, skrubry) z ekonomické hlediska výhodnější.

Biofiltrace je velmi dobrou a především výhodnou alternativou konkurenčním technologiím pro čištění vzduchu z několika důvodů:

- účinnost biofiltrace dosahuje běžně 90 % a více pro běžné polutanty a zápachové látky byla prakticky prokázána.
- protože biofiltrace má menší investiční i provozní náklady, je výhodnější alternativou při čištění vzduchu s nižšími koncentracemi polutantů (do 1500 ppm objemových – to však závisí na kvalitě odstraňovaných látek a výstupních limitech a může proto široce kolísat) a nižšími průtokovými rychlostmi (obecně od 10 000 do 75 000 Nm³/h).
- biofiltrace nespotřebovává velká množství energie a neprodukuje další odpady
- není náročná na obsluhu a lidskou práci



Oblasti služeb a průmyslu, kde lze s výhodou biofiltraci aplikovat a polutanty, které lze biofiltrací odstraňovat, jsou uvedeny v tabulce. Tento přehled zahrnuje realizované biofiltry u nás i v zahraničí. Zkušenosti ukazují, že biofiltry jsou schopné velmi účinně odstraňovat i směsné kontaminace organických a anorganických polutantů, například zápachové látky z ČOV, odpadní vzduch z praní ovčí vlny a pod.

Praktické aplikace biofiltrace vzdušnin

Průmysl, služby	Polutanty odstraňované biofiltrací
Tiskařský	Ethyl acetát, alkoholy, BTEX,
Výroba kabelů	Xylen
Výroba autokarů	Fenol, formaldehyd, ethanol,
Výroba nábytku	Hexan, ethanol, aceton, styren, ethyl acetát, toluen, xylen
Praní vlny	Amoniak, sirovodík, dimethylsulfid, dimethyldisulfid, diethylamin, methylmerkaptan,
Výroba kompozitů	Cyklohexanon, methylethyl keton
Výroba laminátových dílů	Styren, epichlorhydrin, aceton, BTEX
Koždělný	Ethylacetát, butylacetát, aceton, toluen, ethanol
Kompostování	Sirovodík, amoniak, terpeny, aminy, mastné kyseliny, merkaptany
Výroba pekařského droždí	Ethanol, aldehydy, ketony
Mechanicko-biologická úprava bioodpadů	Sirovodík, amoniak, mastné kyseliny, aminy
Chov vepřů a skotu	sirovodík, amoniak, mastné kyseliny, kyselina máselná, aminy, methylsulfidy
Zpracování masa	Aldehydy (zapáchající), organické kyseliny, sirovodík, amoniak
Výroba gumových dílů	Ethylacetát, butylacetát, aceton
Kalové hospodářství ČOV	methanthiol, sirovodík, dimethylsulfid, dimethyldisulfid, triethylamin, amoniak, S-methylmethanthiosulfát, methylcyklohexan, cykloheptatrien
Výroba obuvi	Ethylacetát, butylacetát, aceton

Vliv na životní prostředí

Jedním z často používaných argumentů proti aplikaci biofiltrů je otázka emise mikroorganismů z biofiltru. Touto otázkou se zabýval rozsáhlý výzkum mimo jiné iniciovaný v SRN, kde biofiltrace slouží u velkého počtu zařízení pro mechanicko-biologickou úpravu bioodpadů a kompostáren. Výsledky těchto zkoušek ukázaly, že emise mikroorganismů jsou velmi malé a prakticky nemají negativní vliv na životní prostředí.

Závěr

Zkušenosti z provozu biofiltrů ukazují, že jejich využití je technicky i ekonomicky výhodné a umožňuje producentům emisí se vyrovnat s požadavky platné legislativy. Z vlastních zkušeností víme, že často dochází při návrhu biofiltrů k jejich poddimenzování, takže třeba již zcela nové zařízení začíná pracovat přetížené. Důvodem je často podcenění úvodního monitoringu nebo jeho nesprávné provedení. Často se stává, že úvodní monitoring je zaměřen pouze na cílové polutanty (například sirovodík, merkaptany, amoniak, styren apod.), avšak neberou se v úvahu další přítomné balastní látky v odpadním vzduchu, které však biofiltr rovněž zatěžují (jsou biologicky odbouratelné). V tomto okamžiku, pokud byl biofiltr navržen jen na eliminaci cílových polutantů, bude v provozu přetěžován. Při návrhu biofiltru je třeba vzít v úvahu i biodegradační (eventuálně biotransformační) rychlosti jednotlivých polutantů a navrhnout podle



rychlosti nejpomalejšího procesu. Jinak nebudou dodrženy potřebné doby zdržení a nebude dosaženo požadované účinnosti.

Biofiltrace vzdušnin je ekonomicky výhodným a technicky schůdným řešením pro eliminaci těkavých organických látek a zápachových látek z odpadního vzduchu. Při volbě této technologie je však třeba pečlivě zvážit konkrétní podmínky v místě, kde má být biofiltrace použita. Přestože je biofiltrace kontaminovaných vzdušnin ekonomicky i technologicky výhodnou technologií, není použitelná vždy a za všech okolností.



5.4 Příklad: Potřebné informace pro návrh tkaninového filtru a modelový odhad ceny

Pro návrh filtru pro odlučování tuhých znečišťujících látek (dále jen TZL) je potřeba znát:

1. Základní parametry

1.1. Množství filtrovaného plynu

Obvykle se uvádí objemové množství v m³/h, případně v m³/s. K objemovému množství plynu je potřeba doplňující informace, za jakých podmínek byl tento údaj stanoven (teplota a tlak plynu). Běžně se objemový průtok uvádí za normálních termodynamických podmínek (t = 0 °C, p = 101 325 Pa). Množství plynu může být udáno také jako hmotnostní průtok v kg/h, případně v kg/s. Hmotnostní průtok není závislý na teplotě ani tlaku.

Při návrhu filtru se kalkuluje s objemovým průtokem plynu při jeho skutečné teplotě a tlaku.

Příklad: $V_N = 7\,500\text{ m}^3/\text{h}$, $t = 200\text{ °C}$, $p = 98\,000\text{ Pa}$

$$V = V_N \cdot (T_N + t) / T_N \cdot p_N / p$$

$$V = 7\,500 \cdot (273,15 + 200) / 273,15 \cdot 101\,325 / 98\,000$$

$$V = 13\,440\text{ m}^3/\text{h}$$

Objemový průtok plynu při 200 °C je téměř dvojnásobný proti průtoku za n.p.

1.2. Teplota filtrovaného plynu

Teplota filtrovaného plynu má poměrně zásadní vliv na cenu celé dodávky. Pro textilní filtrační elementy se teplota plynu běžně může pohybovat v rozsahu 20 – 240 °C. Filtrace plynu s teplotou pod 20 °C je možná, ale jedná se o specifické podmínky, kdy teplota filtrovaného plynu je nižší než teplota okolí a tyto specifické podmínky vyžadují specifická opatření. Stejně tak i filtrace plynu s teplotou nad 240 °C je možná, ale opět jsou nutná specifická opatření.

1.3. Chemické složení

Chemické složení filtrovaného plynu může být tak rozmanité, a s tak významnými dopady do volby materiálů a do ceny, že pro účely tvorby tohoto zjednodušeného stanovení ceny dodávky filtračního zařízení není zahrnuto.

2. Doplňující parametry

2.1. Filtrační rychlost

Filtrační rychlost je rychlost průchodu plynu textilií. Obvykle se uvádí buď v mm/s nebo m³/m²/min (objemové množství plynu, které projde jedním metrem čtverečním za jednu minutu). Filtrační rychlost volí obvykle dodavatel filtru na základě zadání, znalostí a zkušeností. Čím nižší filtrační rychlost, tím větší filtrační plocha a velikost filtru a naopak. Nízké filtrační rychlosti méně zatěžují filtrační tkaninu, která má delší životnost a také je nižší spotřeba tlakového vzduchu na regeneraci. Což se projeví v nižších provozních nákladech, ale za cenu vyšší investice. Návrh optimální filtrační rychlosti, kdy budou investiční náklady ještě pro investora akceptovatelné, a zároveň dodavatel bude schopen garantovat požadovanou životnost filtračního materiálu, vyžaduje výše zmíněné znalosti a zkušenosti dodavatele filtračního zařízení.

Filtrační rychlost pro odlučování TZL obvykle volíme v rozsahu 16 – 21 mm/s. V odůvodněných případech může být filtrační rychlost volena mimo tento interval.

2.2. Vlastnosti odlučovaného materiálu

Abrazivita, lepivost, velmi jemné částice (PM10 a menší), nízká hmotnost částic, elektrostatický náboj, výbušnost apod., to vše jsou problematické vlastnosti, které je potřeba řešit specifickými opatřeními. A opět nemohou být zahrnuty do zjednodušeného stanovení ceny.



Pro návrh standardního filtru předpokládáme, že odlučovaný materiál je neabrazivní, nelepivý, nevýbušný a dobře koaguluje.

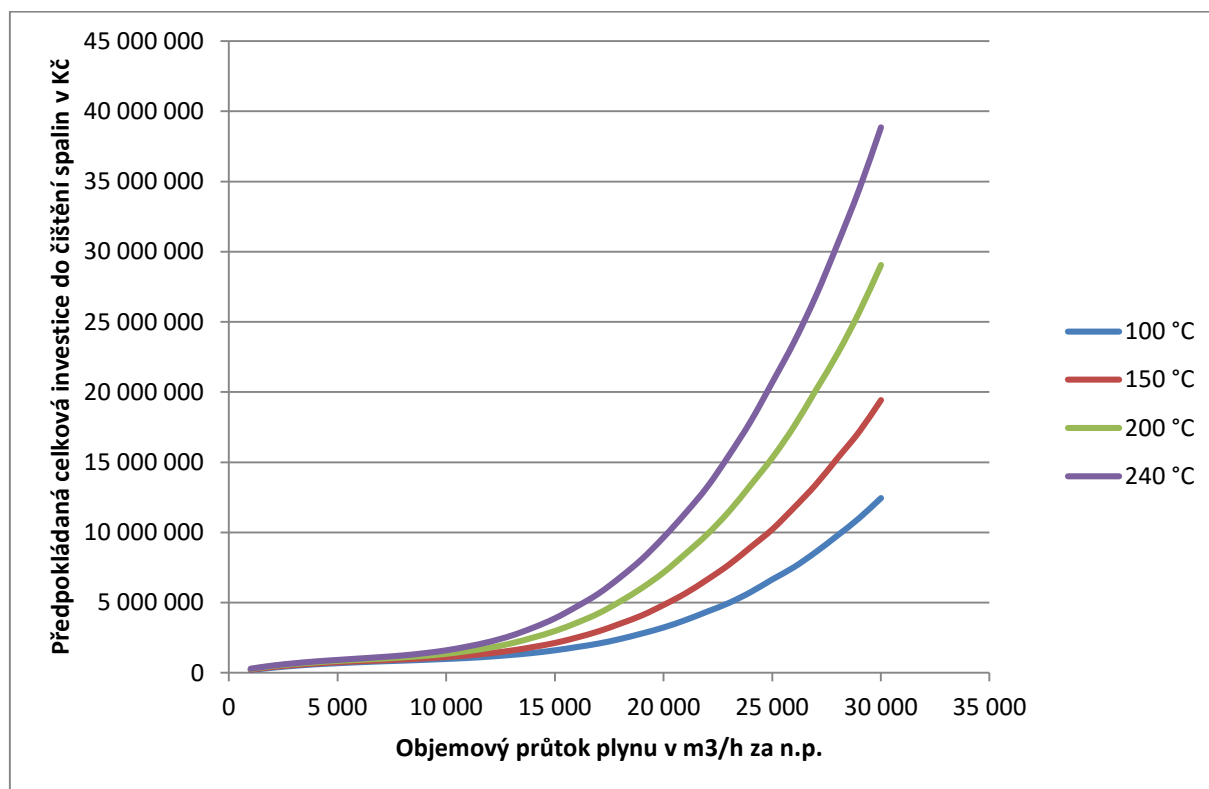
2.3. Prostorová dispozice

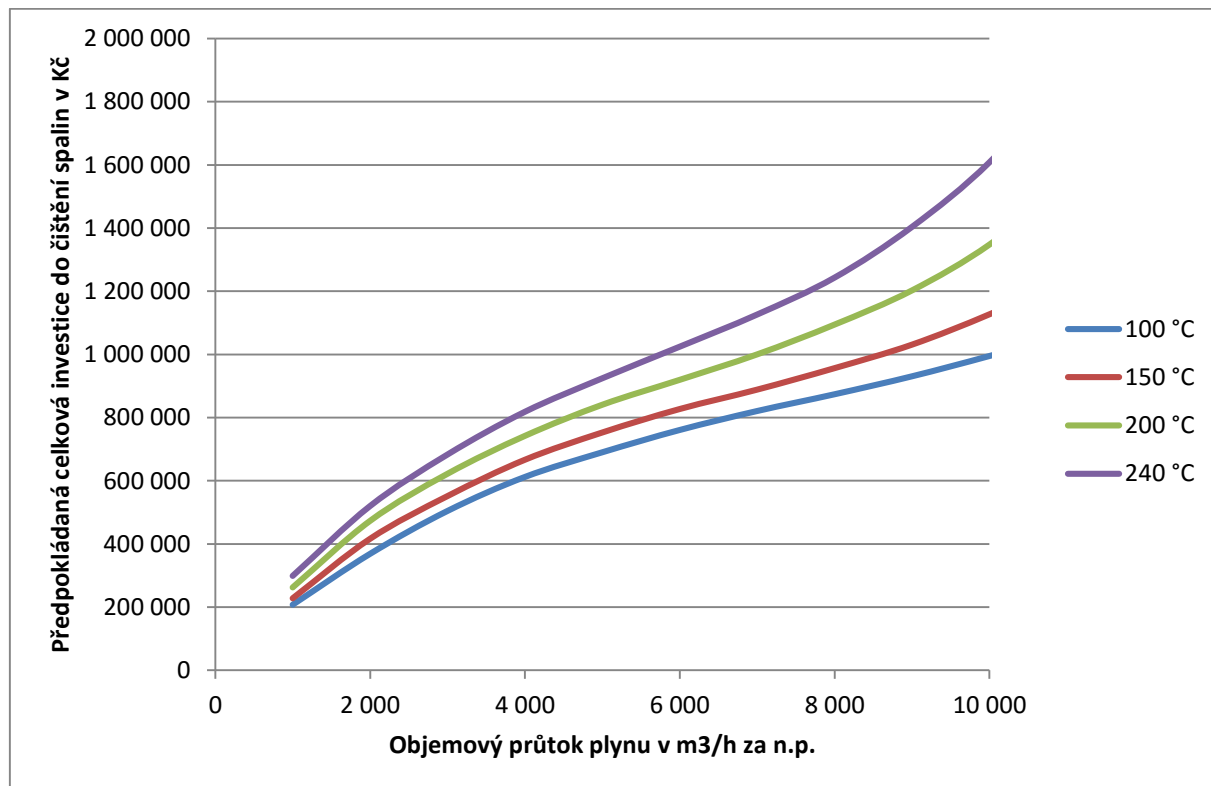
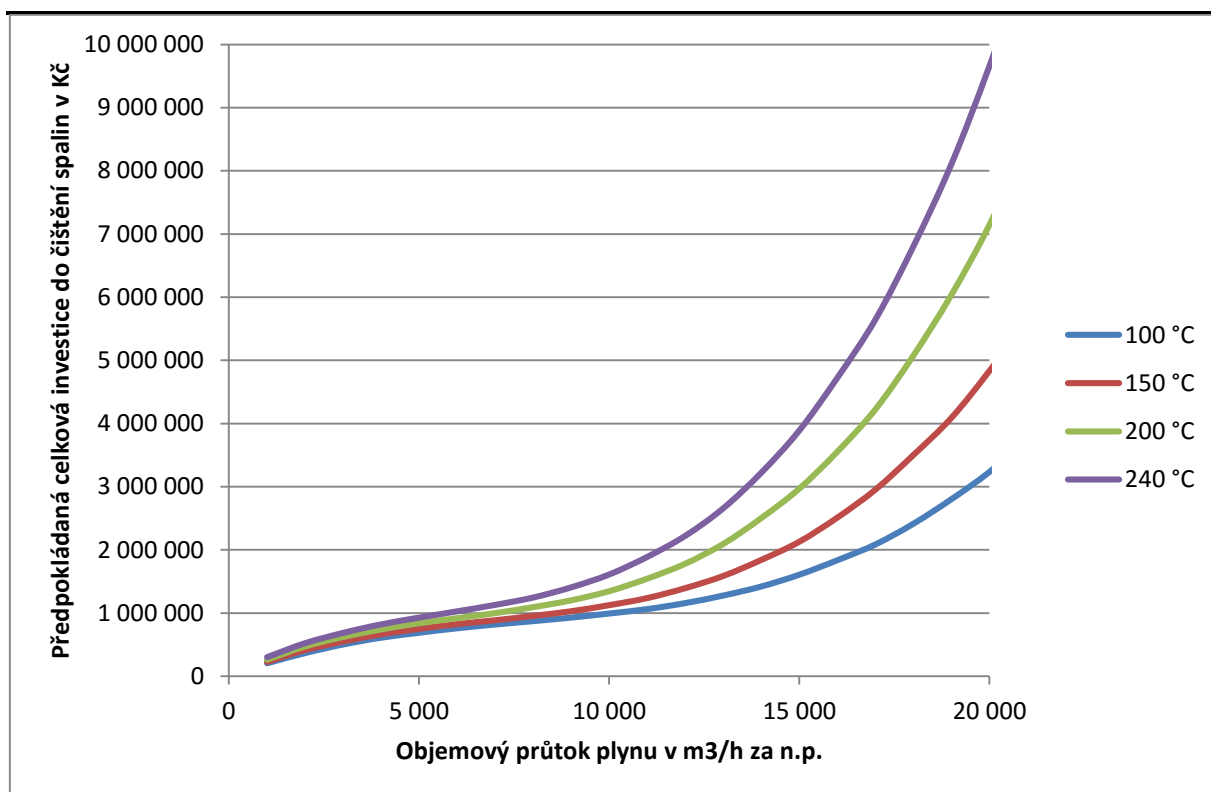
Prostorová omezení nemají až tak zásadní vliv na cenu vlastního filtru, ale mohou významně ovlivnit způsob a cenu montáže. Pro značnou rozmanitost opět tento parametr neuvažujeme v rámci zjednodušeného stanovení ceny filtračního zařízení.

V prvním kroku jsme sestavili tabulku cen výroby a dodávky filtrů podle velikosti filtrační plochy. Pro přiřazení filtrační plochy k objemovému průtoku byla použita poměrně vysoká filtrační rychlost 19 mm/s.

V převážné většině případů investice do čištění odsávaného plynu neobsahuje pouze vlastní filtr. Nezbytnou součástí dodávky technologie jsou obvykle také potrubní trasy, odtahový ventilátor, systém odsunu odprašků, žaluziové předodlučovače apod. Pro vytvoření velmi hrubé představy o ceně celé dodávky technologie čištění jsme sestrojili níže uvedenou grafickou závislost ceny na objemovém průtoku filtrovaného plynu za normálních podmínek a jeho teplotě.

Modelové odhady cen filtrů v závislosti na objemovém průtoku plynu a teplotě plynu (ve třech různých detailech)





Zdroj informací: 14, 15



6 SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Význam
BAT	Best Available Technique (nejlepší dostupná technika)
BREF	BAT Reference Document (evropský referenční dokument k BAT)
OPŽP	Operační program Životní prostředí
SCR	Selective Catalytic Reduction (selektivní katalytická redukce)
SNCR	Selective non-Catalytic Reduction (selektivní nekatalytická redukce)
TOC	Total Organic Carbon (celkový organický uhlík)
TZL	tuhé znečišťující látky
VOC	Volatile Organic Compounds (těkavé organické látky)
ZL	znečišťující látka



7 POUŽITÉ ZDROJE

1. BREF LVIC-S - Velkoobjemové anorganické chemikálie – pevné láky a produkty příbuzné, český překlad TECHEM CZ, listopad 2006, <http://www.ippc.cz/obsah/CF0200/vlastni-dokumenty-bref/velkoobjemove-anorganicke-chemikalie---pevne-latky>
2. BREF SIC - Nejlepší dostupné techniky ve výrobě speciálních anorganických chemikálií, duben 2006, český překlad, <http://www.ippc.cz/obsah/CF0208/vlastni-dokumenty-bref/specialni-anorganicke-chemikalie>
3. BREF LVIC - Velkoobjemové anorganické chemikálie – amoniak, kyseliny a průmyslová hnojiva, říjen 2006, český překlad duben 2007, <http://www.ippc.cz/obsah/CF0199/vlastni-dokumenty-bref/velkoobjemove-anorganicke-chemikalie---amoniak,-kyseliny-a-prumyslova-hnojiva>
4. BREF CAK – Referenční dokument BAT v sektoru výroby chloru a louhu, říjen 2000, český překlad, <http://www.ippc.cz/obsah/CF0187/vlastni-dokumenty-bref/vyroba-chloru-a-louhu>
5. BREF LVOC - Referenční dokument BAT Velkoobjemové organické chemikálie, únor 2002, český překlad, <http://www.ippc.cz/obsah/CF0214/vlastni-dokumenty-bref/velkoobjemove-organicke-chemikalie>
6. BREF OFC – Dokument o nejlepších dostupných technikách ve výrobě speciálních organických chemikálií (Organic Fine Chemicals), únor 2006, český překlad, <http://www.ippc.cz/obsah/CF0209/vlastni-dokumenty-bref/vyroba-specialnich-organickych-chemikalii>
7. BREF POL - Pracovní verze dokumentu o nejlepších dostupných technikách ve výrobě polymerů, konečný návrh červen 2006, český překlad, <http://www.ippc.cz/obsah/CF0210/vlastni-dokumenty-bref/vyroba-polymeru>
8. BREF EFS - Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách při omezování emisí ze skladování, leden 2005, český překlad, <http://www.ippc.cz/obsah/CF0195/vlastni-dokumenty-bref/emise-ze-skladovani>
9. BREF CWW - Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách Běžné čištění odpadních vod a odpadních plynů - Systémy managementu v chemickém průmyslu, únor 2002, český překlad, <http://www.ippc.cz/obsah/CF0196/vlastni-dokumenty-bref/bezne-cistení-odpadnich-vod-a-odpadnich-plynu-systemy-managementu-v-chemickem-prumyslu>
10. Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld, Technologie II – tváření kovů, zpracování plastů, Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů, http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm
11. Laserové svařování, Vysoká škola báňská, homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-03--52.pdf
12. Hana Lapšanská, Laserové technologie v praxi, Univerzita Palackého v Olomouci, <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>
13. Výroční zpráva 2014 o vývoji chemického průmyslu v ČR, Svaz chemického průmyslu České Republiky, <http://www.schp.cz>
14. Podklady dodané firmou ILD cz s.r.o., Kladno: Ceník konstrukcí tkaninových filtrů, www.ild.cz
15. Podklady dodané firmou FILTEX SK, s.r.o., Košice: Ceník tkanin pro filtry, <http://www.filtex.sk>



Tento dokument byl zpracován v rámci projektu „Zpracování referenčních dokumentů o nejlepších dostupných technikách u stacionárních zdrojů nespádajících pod BREF“.

říjen 2015

Zadavatel:

Ministerstvo životního prostředí ČR

Projektový tým:

Vedoucí projektového týmu: Ing. Petr Honskus

Složení projektového týmu (v abecedním pořadí): Ing. Stanislav Bartusek, Mgr. Petra Borůvková, Ing. Antonín Hlavatý, Ph.D., Ing. Adéla Katrušáková, Mgr. Jan Kolář, Ing. Jaroslav Kreuz, Ing. Jaroslava Malířová, Ing. Pavel Machálek, Ing. Jiří Morávek, RNDr. Lubomír Paroha, RNDr. Jan Prášek, Ing. Monika Příbylová, Ing. Ivana Špelinová, Ing. Jan Štejfa, Ing. Jiří Valta, Ing. Miroslav Vlasák, CSc.



Evropská unie

Spolufinancováno z Prioritní osy 8 - Technická pomoc
financovaná z Fondu soudržnosti

Ministerstvo životního prostředí

Státní fond životního prostředí České republiky

www.opzp.cz

Zelená linka 800 260 500

dotazy@sfzp.cz