

1	ÚVOD	3
2	ROZDĚLENÍ SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ A JEJICH ZÁKLADNÍ PRINCIPY	6
2.1	FYZIKÁLNÍ SANAČNÍ METODY	6
2.1.1	Sanační čerpání	6
2.1.2	Zakrytí, uzavření, enkapsulace	6
2.1.3	Termické sanační metody	7
2.1.3.1	Odporový ohřev	7
2.1.3.2	Parní ohřev	7
2.1.3.3	Ohřev přenosem tepla	7
2.1.3.4	Podporovaný ohřev přenosem tepla	7
2.1.3.5	Termická desorpce	7
2.1.3.6	Vitrifikace (termická stabilizace)	8
2.1.4	Odtěžení	8
2.1.5	Odčerpání volné fáze	8
2.1.6	Elektrokinetická separace	8
2.1.7	Vauková extrakce půdního vzduchu (venting)	8
2.1.8	<b>Štěpení horninového prostředí</b>	9
2.1.8.1	Torpedace	9
2.1.8.2	Hydraulické štěpení	9
2.1.8.3	Pneumatické štěpení	9
2.1.9	Gravitační separace	9
2.1.10	Hluboká injektáž (průlinová a puklinová injektáž, klakáž)	10
2.1.11	Nepropustné bariéry (těsnicí stěny)	10
2.1.12	Stripping	10
2.1.13	Adsorpční filtrace	10
2.1.14	Membránová separace	10
2.1.15	Air sparging	11
2.1.16	Fyzikální metody odstraňování organických látek z půdního vzduchu	11
2.1.16.1	Termická oxidace	11
2.1.16.2	Katalytická oxidace	11
2.1.16.3	Hybridní oxidace	11
2.2	CHEMICKÉ SANAČNÍ METODY	12
2.2.1	Vymytí povrchově aktivní látkou	12
2.2.2	Chemická oxidace	12
2.2.3	Fixace a stabilizace (kovů)	12
2.2.4	Solidifikace a stabilizace	12
2.2.5	Chemická extrakce	13

2.2.6	Spalování	13
2.2.7	Propustné reaktivní bariéry	13
2.2.8	Srážení, koagulace, flokulace, flotace	13
2.2.9	Výměna iontů	14
2.2.10	Reduktivní metody	14
2.2.11	Nanotechnologie	14
2.3	<b>BIOLOGICKÉ SANAČNÍ METODY</b>	14
2.3.1	Bioventing	14
2.3.2	Kometabolický bioventing	15
2.3.3	Fytoremediace a rhizoremediace	15
2.3.4	Podporovaná bioremediace	15
2.3.5	Ošetřování půdy a ostatních pevných materiálů po vytěžení na dekontaminační ploše	15
2.3.6	Biologické reaktivní bariéry	16
2.3.7	Biotrasformace, bioredukce	16
2.3.8	Biosparging	16
2.3.9	Bioslurping	17
2.3.10	Bioreaktory	17
2.3.11	Biologické suspenzní systémy (slurry phase)	17
2.3.12	Biostimulace a bioaugmentace	17
2.3.13	Biostabilizace a bioimobilizace	18
2.3.14	Monitorovaná přirozená atenuace	18
2.3.15	Podporovaná atenuace	18
2.3.16	Landfarming	18
2.3.17	Kompostování	19
2.3.18	Biofiltrace	19
2.4	ZÁVĚR	19
<b>3</b>	<b>VÝBĚR A HODNOCENÍ SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ</b>	<b>21</b>
3.1	ÚVOD	21
3.2	VÝBĚR TECHNOLOGIE NA ZÁKLADĚ SKÓRE HODNOTICÍCH PARAMETRŮ	22
3.3	HODNOCENÍ A VÝBĚR SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ PODLE CLARINET	25
3.3.1	Důvody pro sanaci a cíle sanace	26
3.3.2	Odstranění rizik	26
3.3.3	Udržitelný rozvoj	26
3.3.4	Názory vlastníků, investorů, státní správy, obyvatel a dalších zúčastněných subjektů	29
3.3.5	Cenová schůdnost	29
3.3.6	Technická proveditelnost	30
3.4	ZÁVĚR	30

<b>4</b>	<b>OBECNÉ ZÁSADY PRO APLIKACI INTEGROVANÝCH TECHNOLOGIÍ</b>	32
4.1	ÚVOD	32
4.2	FORMA POLUTANTU V HORNINOVÉM PROSTŘEDÍ	33
4.3	SANAČNÍ LIMITY	35
4.4	ZÁVĚR	36
<b>5</b>	<b>INTEGROVANÉ SANAČNÍ TECHNOLOGIE</b>	38
5.1	ÚVOD	38
5.2	INTEGRACE FYZIKÁLNÍCH TECHNOLOGIÍ	38
5.2.1	Sanační čerpání + gravitační separace	39
5.2.2	Sanační čerpání + air stripping vyčerpané podzemní vody	43
5.2.3	Air sparging + vakuová extrakce vzduchu (venting)	46
5.2.4	Sanační čerpání podporované vakuovou extrakcí půdního vzduchu	51
5.2.5	Podpora fyzikálních sanačních technologií ztláčením páry a dalšími termickými technologiemi	53
5.2.6	Podpora fyzikálních sanačních metod štěpením	60
5.2.7	Integrace fyzikálních metod čištění půdního vzduchu	65
5.2.8	Vytěžení kontaminované zeminy a termická desorpce	70
5.2.9	Integrace elektrokinetické sanace v sanačních technologiích	76
5.2.10	Příklady a význam integrace fyzikálních sanačních metod	80
5.2.11	Závěr	88
5.3	INTEGRACE FYZIKÁLNÍCH A CHEMICKÝCH METOD	90
5.3.1	Úvod	90
5.3.2	Chemická oxidace	90
5.3.3	Dehalogenace	106
5.3.4	Chemická extrakce	114
5.3.5	Chemická redukce	118
5.3.6	Solidifikace a stabilizace	128
5.3.7	Propustné reaktivní bariéry	132
5.3.8	Vymývání horninového prostředí	141
5.3.9	Příklady a význam integrace chemických a fyzikálních sanačních technologií	148
5.3.10	Závěr	157
5.4	INTEGRACE BIOLOGICKÝCH SANAČNÍCH METOD	159
5.4.1	Úvod	159
5.4.2	Organismy využívané při biologické sanaci kontaminovaného horninového prostředí	160
5.4.3	Základy sanační mikrobiologie	168
5.4.4	Aerobní a anaerobní odbourávání polutantů	171
5.4.5	Charakteristika polutantu	174

5.4.6	Biologická degradace ropných uhlovodiků	175
5.4.7	Biologická degradace halogenovaných sloučenin	179
5.4.8	Využití biologických metod pro eliminaci či redukci znečištění kovy, metaloidy a radionuklidy	183
5.4.9	Biologické sanační technologie	186
5.4.10	Biologické sanační metody in-situ	191
5.4.10.1	Biosparging + bioventing (vakuová extrakce vzduchu s podporou biodegradace)	191
5.4.10.2	Ostatní bioremediace-in situ	197
5.4.10.2.1	<i>Podporovaná bioremediace monoaromatických uhlovodiků</i>	198
5.4.10.2.2	<i>Podpora aerobní bioremediace organických polutantů</i>	198
5.4.10.2.3	<i>Bioaugmentace</i>	199
5.4.10.2.4	<i>Biostimulace</i>	201
5.4.10.2.5	<i>Bioredukce a biooxidace</i>	202
5.4.10.2.6	<i>Přirozená (monitorovaná) a podporovaná atenuace</i>	204
5.4.10.2.7	<i>Fytoremediace</i>	209
5.4.11	Biologické sanační metody ex-situ	212
5.4.11.1	Landfarming	213
5.4.11.2	Kompostování	215
5.4.11.3	Biostabilizace a bioimobilizace	217
5.4.11.4	Ošetřování pevných kontaminovaných materiálů a kalů na dekontaminační ploše	220
5.4.11.5	Biologické suspenzní systémy (slurry phase)	222
5.4.11.6	Bioreaktory	223
5.4.11.7	Biofiltrace půdního vzduchu	227
5.4.11.7.1	<i>Biofiltr s pevným ložem</i>	229
5.4.11.7.2	<i>Skrápěný biofiltr (trickling biofilter)</i>	230
5.4.11.7.3	<i>Biopračka (bioscrubber)</i>	232
5.4.12	Integrace biologických metod s ostatními sanačními metodami	233
5.4.12.1	Úvod	233
5.4.12.2	Integrace bioventingu a biospargingu	233
5.4.12.3	Integrace biologických sanačních metod a elektrokinetiky	235
5.4.12.4	Integrace chemické oxidace a bioremediace	237
5.4.12.5	Integrace bioremediace a vymytí povrchově aktivní látkou	239
5.4.12.6	Integrované použití nanoželeza nebo jiných částic a biologického čištění	242
5.4.12.7	Bioremediace integrovaná s parní extrakcí a ohřevem	244
5.4.12.8	Podpora bioremediace štěpením hornin	245
5.4.12.9	Integrovaná bioremediace BTEX současným zapouštěním nitrátu a sulfátu jako podporou přirozené atenuace	247

5.4.12.10	Integrace fytořemediace s dalšími sanačními technologiemi	248
5.4.12.11	Integrace biořetrace odpadních vzdušnin s dalšími technologiemi	250
5.4.13	Závěr	251
<b>6</b>	<b>MÍSTO ZÁVĚRU</b>	253
<b>7</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK</b>	256
<b>8</b>	<b>OBSAH</b>	258