

Technická zpráva číslo 135/2017

OPTIMALIZACE VZÁJEMNÉ VZDÁLENOSTI UOS

Autoři: Dušan Kobyłka

Praha, 2019

Název projektu: Výzkumná podpora pro projektové řešení HÚ

Název dílčí zprávy: *Optimalizace vzájemné vzdálenosti ÚOS*

Evidenční číslo: SURAO 2016-2037

Číslo smlouvy zadavatele: SO2016-017

č. zakázky: Z2013-0122/006

Poskytovatel: Společnost „ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ“

Zastoupena: České vysoké učení v Praze, veřejná vysoká škola

Sídlo: Zikova 1903/4, 160 00 Praha 6

Autorský kolektiv:.

	Funkce	Jméno	Datum	Podpis
Za Objednatele	Osoba pověřená k jednání ve věcech smluvních a technických	Ing. Ilona Pospíšková Ing. Jaromír Augusta, Ph.D.		
	Osoba odpovědná za technickou část	Ing. Jaromír Augusta, Ph.D.		
Za Poskytovatele	Osoba pověřená k jednání ve věcech smluvních	Prof. Ing. Petr Konvalinka, Csc.		
	Osoba pověřená k jednání ve věcech technických	Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.		
	Vedoucí expertního týmu	Ing. Fiedler František		

Obsah

Seznam obrázků:	5
1 Věcné a technické zadání	18
2 Vstupní údaje a legislativní požadavky	19
2.1 Legislativní požadavky	19
2.2 Přehled projektových studií, na které zpráva navazuje	20
2.3 Přehled a zdůvodnění použitých vstupních údajů	21
3 Optimalizace vzdálenosti UOS	23
3.1 Vytvoření modelu pro určení roztečí mezi UOS pro horizontální, vertikální a dvojité vertikální ukládání UOS.....	23
3.2 Testování modelu, citlivostní analýzy	34
3.3 Vytvoření a testování modelu ukládání pro referenční úložiště.....	44
3.4 Výpočty s podrobným modelem	57
3.5 Analýza výsledků.....	59
4 Výpočet teplotního vývoje úložiště podle návrhu podzemního areálu dle studie umístitelnosti	60
4.1 Analýza dat o jednotlivých lokalitách – možné varianty podzemí, tepelná data o horninách, vstupní data pro výpočtový model	60
4.2 Vytvoření analytického modelu pro určení roztečí pro jednotlivé lokality	61
4.2.1 Lokalita č. 1 – Kraví hora	61
4.2.2 Lokalita č. 2 – Čihadlo	62
4.2.3 Lokalita č. 3 – Horka	63
4.2.4 Lokalita č. 4 - Hrádek.....	66
4.2.5 Lokalita č. 5 – Březový potok.....	66
4.2.6 Lokalita č. 6 - Čertovka	67
4.2.7 Lokalita č. 7 - Magdaléna.....	68
4.2.8 Lokalita č. 8 - Na Skalním (polygon EDU západ)	69
4.2.9 Lokalita č. 9 - Janoch (polygon ETE jih)	70
4.3 Výpočty dlouhodobého teplotního vývoje úložiště pro dané lokality	71
4.3.1 Lokalita č. 1 – Kraví hora	72
4.3.2 Lokalita č. 2 – Čihadlo	83
4.3.3 Lokalita č. 3 – Horka	96

4.3.4	Lokalita č. 4 - Hrádek.....	111
4.3.5	Lokalita č. 5 – Březový potok.....	121
4.3.6	Lokalita č. 6 - Čertovka	132
4.3.7	Lokalita č. 7 - Magdaléna.....	145
4.4	Souhrnná analýza výsledků	159
4.5	Nejistoty řešení.....	161
5	Závěr.....	163
6	Literatura.....	165

Seznam obrázků:

Obr.1	Počítaná geometrie UOS-bentonit-HB a naznačený průběh teplot v této konfiguraci	24
Obr.2	Maximální povolená teplota rozhraní bentonit-HB pro vertikální ukládání, 65 let skladování.....	25
Obr.3	Maximální povolená teplota rozhraní bentonit-HB pro horizontální ukládání, 65 let skladování.....	25
Obr.4	Srovnání použitého modelu tepelného výkonu jako funkce času	29
Obr.5	Výkony UOS jako funkce času od vyvezení z AZ – časový úsek od vyvezení paliva z AZ do 100 let, čarou zvýrazněna předpokládaná celková doba skladování 65 let v bazénech a meziskladu.....	30
Obr.6	Výkony UOS jako funkce času od vyvezení z AZ – celý sledovaný časový úsek	31
Obr.7	Geometrie a maximální teploty HB u vertikálního uspořádání.....	32
Obr.8	Geometrie a maximální teploty HB u horizontálního uspořádání.....	32
Obr.9	Vliv postupného zavážení UOS na teploty – dlouhý časový interval	36
Obr.10	Vliv postupného zavážení UOS na teploty – časový interval 10 let od zavezení.....	37
Obr.11	Dispoziční řešení referenční lokality, vertikální uspořádání, ražba TBM, dispoziční řešení D1, [21] příloha 01	47
Obr.12	Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM.....	48
Obr.13	Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, VVER-1000-vertikální, ražba TBM	49
Obr.14	Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM.....	49
Obr.15	Dispoziční řešení referenční lokality pro vertikální ukládání a konvenční ražbu, dispoziční řešení D2, [21] příloha 02,	50
Obr.16	Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, UOS EDU – vertikální ukládání, ražba konvenční	51
Obr.17	Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba konvenční.....	51
Obr.18	Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, UOS ETE - vertikální ukládání, ražba konvenční	52
Obr.19	Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba konvenční.....	52
Obr.20	Dispoziční řešení D3 referenční lokality pro horizontální ukládání a ražbu TBM, [21] příloha 03.....	53
Obr.21	Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, UOS EDU - horizontální ukládání, ražba TBM.....	54

Obr.22	Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM.....	54
Obr.23	Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, VVER-1000 - horizontální ukládání, ražba TBM.....	55
Obr.24	Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM.....	56
Obr.25	Model pro numerický výpočet soustavy UOS-bentonit-HB	58
Obr.26	Dispoziční řešení lokality Kraví hora, vertikální ukládání, ražba TBM, [23], příloha dispoziční řešení D1	72
Obr.27	Geometrie teplotního výpočtu lokality Kraví hora, vertikální ukládání, ražba TBM	73
Obr.28	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM.....	73
Obr.29	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM.....	74
Obr.30	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM.....	75
Obr.31	Dispoziční řešení lokality Kraví hora, vertikální ukládání, konvenční ražba, [23], příloha dispoziční řešení D2	76
Obr.32	Geometrie teplotního výpočtu lokality Kraví hora, vertikální ukládání, konvenční ražba	76
Obr.33	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba	77
Obr.34	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba	78
Obr.35	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba	79
Obr.36	Dispoziční řešení lokality Kraví hora, horizontální ukládání, ražba TBM, [23], příloha dispoziční řešení D3	80
Obr.37	Geometrie teplotního výpočtu lokality Kraví hora, horizontální ukládání, ražba TBM	80
Obr.38	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM	81
Obr.39	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM	82
Obr.40	Dispoziční řešení lokality Čihadlo, vertikální ukládání, ražba TBM, [22], příloha dispoziční řešení D1	83
Obr.41	Geometrie teplotního výpočtu lokality Čihadlo, vertikální ukládání, ražba TBM	84
Obr.42	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM.....	84

Obr.43	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM.....	85
Obr.44	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM.....	86
Obr.45	Dispoziční řešení lokality Čihadlo, vertikální ukládání, konvenční ražba [22], příloha dispoziční řešení D2	87
Obr.46	Geometrie teplotního výpočtu lokality Čihadlo, vertikální ukládání, konvenční ražba	87
Obr.47	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba	88
Obr.48	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba	89
Obr.49	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba	90
Obr.50	Dispoziční řešení lokality Čihadlo, horizontální ukládání, ražba TBM, [22], příloha dispoziční řešení D3	90
Obr.51	Geometrie teplotního výpočtu lokality Čihadlo, horizontální ukládání, ražba TBM	91
Obr.52	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM.....	92
Obr.53	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM.....	92
Obr.54	Dispoziční řešení lokality Čihadlo, horizontální ukládání, konvenční ražba, [22], příloha dispoziční řešení D4	93
Obr.55	Geometrie teplotního výpočtu lokality Čihadlo, horizontální ukládání, konvenční ražba	94
Obr.56	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS EDU – horizontální ukládání, konvenční ražba	95
Obr.57	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS ETE – horizontální ukládání, konvenční ražba	95
Obr.58	Dispoziční řešení lokality Horka, vertikální ukládání, ražba TBM, [24], příloha dispoziční řešení D1	96
Obr.59	Geometrie teplotního výpočtu lokality Horka, vertikální ukládání, ražba TBM....	97
Obr.60	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM.....	98
Obr.61	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM.....	99
Obr.62	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM.....	100

Obr.63	Dispoziční řešení lokality Horka, vertikální ukládání, konvenční ražba, [24], příloha dispoziční řešení D2	101
Obr.64	Geometrie teplotního výpočtu lokality Horka, vertikální ukládání, konvenční ražba	101
Obr.65	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba	102
Obr.66	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba	103
Obr.67	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba	104
Obr.68	Dispoziční řešení lokality Horka, horizontální ukládání, ražba TBM, [24], příloha dispoziční řešení D3	104
Obr.69	Geometrie teplotního výpočtu lokality Horka, horizontální ukládání, ražba TBM	105
Obr.70	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM.....	105
Obr.71	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM.....	106
Obr.72	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS NJZ – horizontální ukládání, ražba TBM.....	107
Obr.73	Dispoziční řešení lokality Horka, horizontální ukládání, konvenční ražba, [24], příloha dispoziční řešení D4	108
Obr.74	Geometrie teplotního výpočtu lokality Horka, horizontální ukládání, konvenční ražba	109
Obr.75	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS EDU – horizontální ukládání, konvenční ražba	109
Obr.76	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS ETE – horizontální ukládání, konvenční ražba	110
Obr.77	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS NJZ – horizontální ukládání, konvenční ražba	111
Obr.78	Dispoziční řešení lokality Hrádek, vertikální ukládání, ražba TBM, [25], příloha dispoziční řešení D1	112
Obr.79	Geometrie teplotního výpočtu lokality Hrádek, vertikální ukládání, ražba TBM	112
Obr.80	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM.....	113
Obr.81	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM.....	114
Obr.82	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM.....	114

Obr.83	Dispoziční řešení lokality Hrádek, vertikální ukládání, konvenční ražba, [25], příloha dispoziční řešení D2	115
Obr.84	Geometrie teplotního výpočtu lokality Hrádek, vertikální ukládání, konvenční ražba	116
Obr.85	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba	116
Obr.86	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba	117
Obr.87	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba	118
Obr.88	Dispoziční řešení lokality Hrádek, horizontální ukládání, ražba TBM, [25], příloha dispoziční řešení D3	119
Obr.89	Geometrie teplotního výpočtu lokality Hrádek, horizontální ukládání, ražba TBM	119
Obr.90	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM.....	120
Obr.91	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM.....	121
Obr.92	Dispoziční řešení lokality Březový potok, vertikální ukládání, ražba TBM, [26], příloha dispoziční řešení D1	122
Obr.93	Geometrie teplotního výpočtu lokality Březový potok, vertikální ukládání, ražba TBM	122
Obr.94	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM	123
Obr.95	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM	124
Obr.96	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM	125
Obr.97	Dispoziční řešení lokality Březový potok, vertikální ukládání, konvenční ražba, [26], příloha dispoziční řešení D2	125
Obr.98	Geometrie teplotního výpočtu lokality Březový potok, vertikální ukládání, konvenční ražba	126
Obr.99	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba.....	127
Obr.100	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba.....	128
Obr.101	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba.....	128
Obr.102	Dispoziční řešení lokality Březový potok, horizontální ukládání, ražba TBM, [26], příloha dispoziční řešení D3	129

Obr.103	Geometrie teplotního výpočtu lokality Březový potok, horizontální ukládání, ražba TBM	130
Obr.104	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM	130
Obr.105	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM	131
Obr.106	Dispoziční řešení lokality Čertovka, vertikální ukládání, ražba TBM, [27], příloha dispoziční řešení D1	132
Obr.107	Geometrie teplotního výpočtu lokality Čertovka, vertikální ukládání, ražba TBM	133
Obr.108	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM.....	133
Obr.109	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM.....	134
Obr.110	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM.....	135
Obr.111	Dispoziční řešení lokality Čertovka, vertikální ukládání, konvenční ražba, [27], příloha dispoziční řešení D2	136
Obr.112	Geometrie teplotního výpočtu lokality Čertovka, vertikální ukládání, konvenční ražba	136
Obr.113	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba	137
Obr.114	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba.....	138
Obr.115	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba.....	138
Obr.116	Dispoziční řešení lokality Čertovka, horizontální ukládání, ražba TBM, [27], příloha dispoziční řešení D3	139
Obr.117	Geometrie teplotního výpočtu lokality Čertovka, horizontální ukládání, ražba TBM	140
Obr.118	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM.....	140
Obr.119	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM.....	141
Obr.120	Dispoziční řešení lokality Čertovka, horizontální ukládání, ražba TBM, [27], příloha dispoziční řešení D3	142
Obr.121	Geometrie teplotního výpočtu lokality Čertovka, horizontální ukládání, konvenční ražba	143
Obr.122	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS EDU – horizontální ukládání, konvenční ražba.....	144

Obr.123	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS ETE – horizontální ukládání, konvenční ražba.....	144
Obr.124	Dispoziční řešení lokality Magdaléna, vertikální ukládání, ražba TBM, [28], příloha dispoziční řešení D1	146
Obr.125	Geometrie teplotního výpočtu lokality Magdaléna, vertikální ukládání, ražba TBM	146
Obr.126	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM.....	147
Obr.127	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM.....	148
Obr.128	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM.....	149
Obr.129	Dispoziční řešení lokality Magdaléna, vertikální ukládání, konvenční ražba, [28], příloha dispoziční řešení D2	149
Obr.130	Geometrie teplotního výpočtu lokality Magdaléna, vertikální ukládání, konvenční ražba	150
Obr.131	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba	151
Obr.132	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba	152
Obr.133	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba	153
Obr.134	Dispoziční řešení lokality Magdaléna, horizontální ukládání, ražba TBM, [28], příloha dispoziční řešení D3	154
Obr.135	Geometrie teplotního výpočtu lokality Magdaléna, horizontální ukládání, ražba TBM	154
Obr.136	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM	155
Obr.137	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM	155
Obr.138	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS NJZ – horizontální ukládání, ražba TBM	156
Obr.139	Dispoziční řešení lokality Magdaléna, horizontální ukládání, konvenční ražba, [28], příloha dispoziční řešení D4	157
Obr.140	Geometrie teplotního výpočtu lokality Magdaléna, horizontální ukládání, konvenční ražba.....	158
Obr.141	Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS NJZ – horizontální ukládání, konvenční ražba	158

Seznam tabulek:

Tab.1	Použitá data o vyhoření k palivu VVER-440	27
Tab.2	Parametry různých paliv VVER-440, [10]	27
Tab.3	Použitá data o vyhoření k palivu VVER-1000	28
Tab.4	Konstanty pro výpočet měrného zbytkového tepelného výkonu.....	29
Tab.5	Základní parametry švédských úložišť, [17], [7]	34
Tab.6	Minimální rozteč UOS v metrech pro vertikální ukládání a UOS EDU v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB	38
Tab.7	Minimální rozteč UOS v metrech pro vertikální ukládání a UOS ETE v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB	39
Tab.8	Minimální rozteč UOS v metrech pro vertikální ukládání a UOS NJZ v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB	39
Tab.9	Minimální rozteč UOS v metrech pro horizontální ukládání a UOS EDU v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB.....	40
Tab.10	Minimální rozteč UOS v metrech pro horizontální ukládání a UOS ETE v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB.....	40
Tab.11	Minimální rozteč UOS v metrech pro horizontální ukládání a UOS NJZ v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB.....	41
Tab.12	Minimální rozteč UOS v metrech pro geometrii UOS EDU/bentonit a vertikální ukládání v závislosti na výkonu UOS a součiniteli tepelné vodivosti HB	42
Tab.13	Minimální rozteč UOS v metrech pro geometrii UOS ETE/bentonit a vertikální ukládání v závislosti na výkonu UOS a součiniteli tepelné vodivosti HB	42
Tab.14	Minimální rozteč UOS v metrech pro geometrii UOS EDU/bentonit a horizontální ukládání v závislosti na výkonu UOS a součiniteli tepelné vodivosti HB	43
Tab.15	Minimální rozteč UOS v metrech pro geometrii UOS ETE/bentonit a horizontální ukládání v závislosti na výkonu UOS a součiniteli tepelné vodivosti HB	43
Tab.16	Optimalizované vzdálenosti pro referenční lokalitu pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ	45
Tab.17	Optimalizované vzdálenosti pro referenční lokalitu – optimální doba skladování	45
Tab.18	Termofyzikální vlastnosti HB na lokalitách pro HÚ	60
Tab.19	Základní půdorysné rozměry HB na základních lokalitách	61
Tab.20	Vypočítané rozteče v lokalitě Kraví hora pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ	62
Tab.21	Vypočítané rozteče v lokalitě Čihadlo pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ	63
Tab.22	Základní rozteče v lokalitě Horka pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ ...	64
Tab.23	Čas skladování při maximálním využití plochy lokality Horka.....	65

Tab.24	Čas skladování při optimálních roztečích na lokalitě Horka.....	65
Tab.25	Rozteče v lokalitě Hrádek pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ.....	66
Tab.26	Rozteče v lokalitě Březový potok pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ ...	67
Tab.27	Rozteče v lokalitě Čertovka pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ.....	68
Tab.28	Čas skladování při optimálních roztečích na lokalitě Magdaléna	69
Tab.29	Výsledky výpočtů na lokalitě Na Skalním pro zvolené rozteče	70
Tab.30	Rozteče v lokalitě Janoch pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ.....	71
Tab.31	Souhrnné srovnání mezních teplotních hodnot pro všechny lokality a varianty ukládání	159

Seznam použitých zkratek:

AZ – aktivní zóna jaderného reaktoru

CASTOR – přepravní a skladovací obalový soubor

ČR – Česká republika

EDU – jaderná elektrárna Dukovany

ETE – jaderná elektrárna Temelín

HB – homogenní blok

HM – těžký kov (uran)

HÚ – hlubinné úložiště

JE – jaderná elektrárna

KJR-FJFI – Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

NJZ – nový jaderný zdroj

PS – palivový soubor

SKB – Svensk Kärnbränslehantering AB

TBM – mechanizovaný způsob ražby

UOS – ukládací obalový soubor

UOS NJZ – ukládací obalový soubor obsahující VJP z nového jaderného zdroje

UOS EDU – ukládací obalový soubor obsahující VJP z reaktorů VVER-440

UOS ETE – ukládací obalový soubor obsahující VJP z reaktorů VVER-1000

VJP - vyhořelé jaderné palivo

Vymezení pojmů:

CASTOR	Obecné označení obalového souboru určeného pro skladování a transport vyhořelého jaderného paliva, kterým bude VJP dováženo do areálu HÚ.
Geometrie teplotního výpočtu	Zjednodušený model skutečného dispozičního řešení HÚ použitý pro výpočty dlouhodobého průběhu teplot vybraných míst HÚ. Součástí geometrie je rovněž konkrétní zavezení různých typů UOS do HÚ.
Hlubinné úložiště	Jaderné zařízení sloužící k trvalému uložení radioaktivních odpadů zahrnující jak podzemní, tak i povrchový areál, vč. podpůrných zařízení a objektů mimo samotnou střeženou část areálu.
Homogenní blok	Horninový blok na ukládacím horizontu u kterého je předpoklad, že svými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi je vhodný pro uložení UOS. Pro výpočty má konstantní termofyzikální vlastnosti.
Horizontální ukládání	Způsob trvalého uložení UOS v HÚ do subhorizontálních vrtů, předpokládající uložení více UOS do jednoho vrtu při jejich oddělení dalšími inženýrskými bariérami.
Limitní teplota HB	Maximální možná teplota HB na okraji vývrtu při jejímž dodržení ještě nebude překročena limitní teplota bentonitu. Skutečná teplota HB na okraji vývrtu musí být proto vždy nižší než limitní teplota. Popis výpočtu limitní teploty je proveden v kap. 3.
Limitní teplota bentonitu	Maximální povolená teplota bentonitu stanovená v zadání na 95 °C, která nesmí být v žádném časovém okamžiku překročena.
Optimální rozteč	Minimální rozteč mezi UOS nebo zavážecími chodbami (resp. vrtu) taková, aby nebyla překročena limitní teplota HB.
Pozice v HÚ	Pozicí je při výpočtu teplot myšlena poloha UOS v HÚ na jehož rozhraní bentonit-HB je teplota popisována. Myšlena je vždy nejvyšší teplota na rozhraní bentonit-HB ve smyslu Obr.7 resp. Obr.8
Prodloužení doby skladování	Při výpočtech na některých lokalitách s nízkým součinitelem tepelné vodivosti nebylo možno nalézt rozteče UOS a tunelů tak, aby nebyla překročena limitní teplota bentonitu. Řešením je nechat poklesnout výkon UOS prodloužením doby skladování v meziskladu nad původních 65 let.
Rezerva k limitní teplotě	Je dána rozdílem limitní teploty HB a počítané teploty HB na okraji ukládacího vývrtu. Rezerva musí být kladné číslo větší než 0.

Rozteč tunelů (vrtů)	Vzdálenost mezi osami dvou sousedních tunelů (při vertikálním ukládání) nebo mezi středy dvou sousedních vrtů (při horizontálním ukládání), viz Obr.7 resp. Obr.8
Rozteč UOS	Vzdálenost mezi osami dvou sousedních UOS (při vertikálním ukládání) nebo mezi středy UOS (při horizontálním ukládání), viz Obr.7 resp. Obr.8
Sekce	Část HÚ s pravidelným umístěním UOS, oddělená od ostatních částí dalšími prostory HB. Sekce a jejich označení jsou přebírány ze Studií umístitelnosti. Sekce se v některých případech dělí na části.
Součinitel tepelné vodivosti	Termofyzikální vlastnost materiálu udávající schopnost vést teplo kondukcí. Vyšší hodnota znamená lepší vedení tepla materiálem.
Tepelný výkon UOS	Celkový zbytkový tepelný výkon produkovaný vyhořelými PS v jednom UOS.
Ukládací obalový soubor	Obalový soubor určený k trvalému uložení VJP v HÚ.
Vertikální ukládání	Způsob trvalého uložení UOS v HÚ do vertikálních vrtů, předpokládající uložení vždy jednoho UOS do samostatného vrtu vč. jeho ochrany dalšími inženýrskými bariérami
Vyhořelé jaderné palivo	Ozářené jaderné palivo, které bylo trvale vyjmuto z aktivní zóny jaderného reaktoru. Míra ozáření je charakterizována vyhořením.
Zbytkový tepelný výkon	Tepelný výkon produkovaný přímo ve vyhořelém jaderném palivu, který je způsoben především rozpadem nestabilních izotopů vzniklých při štěpení nebo záchytem neutronů na těžkých jádrech.

Abstrakt

Tepelné výpočty jsou důležitou součástí návrhu HÚ. Tyto výpočty jsou určeny zejména k optimalizaci roztečí UOS a ukládacích chodeb (vrtů) a dokumentují rovněž vývoj teplot na заданých místech či celého teplotního pole v oblasti HÚ v průběhu sledovaného období. Zpráva stručně popisuje výchozí předpoklady a podmínky provedených výpočtů a zabývá se vyhodnocením vstupních dat o VJP v ČR, tak aby byl určen tepelný výkon jednotlivých typů UOS jako funkce času. Rozebírá použitý analytický matematicko-fyzikální model, jeho vlastnosti a zjednodušení, současně s provedenými citlivostními analýzami, které vypovídají o závislostech roztečí na parametrech HB, přesnosti použitého modelu a jeho konzervativnosti. Vlastní optimalizace roztečí UOS a ukládacích chodeb (vrtů) je provedena a popsána pro všechny typy ukládání a posuzované lokality. Na dlouhodobých průbězích teplot vybraných míst ve všech заданých dispozičních řešeních HÚ je následně demonstrován vývoj teplot a skutečnost, že nikdy nedojde k překročení limitní teploty HB.

Klíčová slova

hlubinné úložiště, vyhořelé jaderné palivo, zbytkový tepelný výkon, rozteče ukládacích obalových souborů, optimalizace roztečí ukládacích obalových souborů, teplota, teplotní pole, dlouhodobý vývoj teplot v hlubinném úložišti

Abstract

Heat transfer calculations are important part of deep geological repository design. These calculations are used for spent fuel canister and tunnels pitch optimization and show long-term development of temperatures and temperature field in deep geological repository during selected period. The report deals with input assumptions and conditions of calculations. It analyses input data about spent nuclear fuel in the Czech republic, so as decay heat for different types of spent fuel canister were determined as a function of time. The report describes used analytical mathematical-physical model, its features and simplifications simultaneously with sensitivity analyses which were done and which shows relations between pitch and usable rock block parameters, model accuracy and conservative approach. Optimization of spent fuel canisters pitch and tunnels pitch is done and described for all types of methods of disposal and for all areas. Long-term temperature courses in all given dispositional solutions of deep geological repositories shows temperatures development and also shows the fact that critical temperature of usable rock block is never exceed.

Keywords

deep geological repository, spent nuclear fuel, decay heat, spent fuel canister pitch, optimization of spent fuel canister pitch, temperature, temperature field, long-term development of temperatures in deep geological repository

1 Věcné a technické zadání

Cílem plnění je provedení teplotních výpočtů pro optimalizaci prostorového uspořádání UOS, resp. vzájemných vzdáleností UOS a úložných prostor VJP. Výsledky optimalizace musí být aplikovatelné pro umístění HÚ na jednotlivých potenciálních lokalitách (Březový potok, Čertovka, Čihadlo, Horka, Hrádek, Kraví hora a Magdaléna, Janoch (polygon ETE jih) a Na Skalním (polygon EDU západ) v rámci studií umístitelnosti. Paralelně proběhne rovněž optimalizace prostorového uspořádání UOS na referenční lokalitě.

Součástí technického zadání je také optimalizace zavážení VJP do UOS a následné prověření, zda pro budoucí provoz bude možné provozními opatřeními při zavážení UOS snížit vzdálenosti mezi UOS. Optimalizace musí zohlednit specifika VJP z jednotlivých elektráren. Úkol by měl být členěn na části:

1. etapa: Optimalizace vzdálenosti UOS

Cílem je určit optimální vzdálenost mezi UOS pro horizontální a vertikální způsob ukládání. Určení této vzdálenosti musí vzít v úvahu i vzájemné tepelné ovlivnění uložených UOS.

Základní body řešení:

- Bude vytvořen zjednodušený výpočetní model pro určení roztečí mezi UOS pro varianty horizontálního, vertikálního a dvojitého (2 UOS v jedné šachtě nad sebou) vertikálního ukládání UOS. Potřebná fyzikální data, hraniční a počáteční podmínky řešení budou v této fázi po ověření a kritickém posouzení převzata z dřívějších výpočtů prováděných v této oblasti pro SÚRAO v ÚJV a Škoda JS. Tepelný výkon bude brán jako střední pro daný typ UOS (tj. bude počítáno se třemi středními tepelnými výkony pro EDU, ETE a NJZ). Termofyzikální vlastnosti hornin HB (součinitel tepelné vodivosti, hustota a měrná tepelná kapacita, nebo alternativně součinitel teplotní vodivosti či objemová tepelná kapacita) budou dodány pro jednotlivé lokality zadavatelem.
- Se zjednodušeným modelem budou provedeny analytické optimalizační výpočty pro určení roztečí mezi UOS pro varianty horizontálního, vertikálního a dvojitého vertikálního ukládání UOS. Zjednodušení modelu bude kompenzováno konzervativním přístupem a výpočty budou provedeny pro referenční úložiště. Na základě výsledků výpočtů budou nalezeny potřebné rozteče a rovněž vytipována optimální varianta ukládání.
- Bude vytvořen a testován podrobný model pro referenční úložiště (bez vazby na konkrétní lokalitu) a vybranou optimální variantu ukládání (viz předchozí body).
- Budou provedeny výpočty s podrobným modelem včetně základních citlivostních analýz na modelovací chyby (hustota sítě, hraniční a počáteční podmínky, použití zjednodušených modelů) a pro limitní případy výkonů v zavážených UOS a prostorové rezervy pro další UOS.
- Bude provedena analýza výsledků a zpracována data ve formě zprávy.

2. etapa: Výpočet teplotního vývoje úložiště

Cílem je provést výpočet teplotního vývoje úložiště pro konfiguraci, danou návrhem podzemního areálu dle studie umístitelnosti.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

- Bude provedena analýza dat o jednotlivých lokalitách (varianty návrhu podzemí, tepelná data o horninách apod.) a připravena vstupní data pro výpočtový model. Data charakterizující lokality budou poskytnutá zadavatelem.
- Budou vytvořeny modely pro jednotlivé lokality. Modely budou vycházet ze zkušeností získaných při řešení předchozí etapy.
- Budou provedeny výpočty teplotního vývoje úložiště pro dané lokality.
- Bude provedena analýza výsledků a zpracována data ve formě zprávy.

2 Vstupní údaje a legislativní požadavky

2.1 Legislativní požadavky

Legislativní požadavky na projekt hlubinného úložiště RAO jsou z pohledu tepelných výpočtů podle současné legislativy dány v následujících vyhláškách: Vyhláška SÚJB č. 329/2017 v hlavě II, § 19, Vyhláška SÚJB č. 377/2016 v §9, Vyhláška SÚJB č. 378/2016 a Vyhláška SÚJB č. 21/2017.

Vyhláška SÚJB č. 329 ze dne 26. září 2017, Hlava II, § 19

V uvedené vyhlášce nejsou konkrétní požadavky na teplotní parametry, limity teplot či jiné tepelné vlastnosti úložiště nebo hornin, ve kterých je úložiště realizováno. Jako jediný přenesený závěr z uvedeného zdroje lze tak pro teplotní výpočty použít pouze princip zajištění dostatečně nízkých teplot, které by neohrožily jakoukoliv z principiálních vlastností úložiště.

Vyhláška SÚJB č. 377 ze dne 7. listopadu 2016


Vyhláška udává v § 9 bodu (4), že podmínky přijatelnosti podle odstavce 3 písm. a) dále obsahují pro radioaktivní odpad pro jeho uložení v úložišti radioaktivního odpadu popis tepelných a radiačních účinků radioaktivního odpadu. Na základě uvedeného požadavku je nutné projekt doložit výpočty teplotních polí.

Vyhláška SÚJB č. 378 ze dne 7. listopadu 2016,

V tomto dokumentu jsou konkrétní požadavky na teplotní parametry a limity či tepelné vlastnosti úložiště dány pouze v § 18, odstavec (2), bod n). Podle něj se při posuzování území k umístění hlubinného úložiště musí dále hodnotit tepelné vlastnosti horninového prostředí, včetně tepelného (zřejmě myšleno teplotního) gradientu.

Vyhláška SÚJB č. 21 ze dne 23. ledna 2017 o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení

Vyhláška udává v § 14 bodu (1), že při manipulaci s vyhořelým jaderným palivem musí být prakticky vyloučeno a) porušení hermetičnosti palivového elementu a b) poškození tohoto paliva vlivem zbytkového tepla. Tento požadavek lze vztáhnout rovněž na podmínku uložení VJP a diktuje pak nutnost dostatečného odvodu tepla z UOS. Vzhledem k tomu, že limitní teplotou pro bentonit je 95 °C, což je méně než limitní teploty pro zachování hermetičnosti pokrytí (jsou konkrétně dány výrobcem paliva a bývají nad 300 °C), je teplota pokrytí dána

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

výkonem VJP a jeho odvodem z UOS. Splnění tohoto požadavku je proto zejména záležitost konstrukce koše a pláště UOS.

Z pohledu české legislativy je tedy nezbytné v rámci návrhu úložiště provést tepelné výpočty. Nejsou zde však kladeny přesné požadavky na jejich provedení či teplotní limity s výjimkou podmínky, že při něm musí být zohledněny tepelné vlastnosti konkrétního horninového prostředí a teplotní gradient. Obě podmínky jsou proto při výpočtech splněny se současnými znalostmi o horninových podmínkách na jednotlivých lokalitách. Hlavními parametry optimalizace a kritéria teplotních výpočtů jsou proto pouze teplotní limity dané použitými materiály a definované zadavatelem.

2.2 Přehled projektových studií, na které zpráva navazuje

Dědeček P.: Stanovení tepelných vlastností horninových vzorků z průzkumných lokalit v souvislosti s plánovaným úložištěm RO, Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i, 2017

Pospíšková I. a kol., I. etapa - Analýza vstupních předpokladů řešení, 1.dílní zpráva, EGP 5014-F-090424, 2009

Šik J.: Ukládací obalový soubor pro hlubinné úložiště, Tepelný výpočet, Ae 16093/dok Rev.1, Škoda JS, 2016

Blaheta J. a kol. Tepelná analýza referenčního návrhu úložiště vyhořelého jaderného paliva, Ústav geoniky AV ČR, Ostrava, 2012

Masáková: Sestava superkontejneru 1000, Ae 32769 P, Škoda JS, 2010

Masáková: Sestava superkontejneru 440, Ae 32768 P, Škoda JS, 2010

Grünwald L. a kol.: Optimalizace podzemních částí HÚ referenčního projektu, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018

Bureš P. a kol.: Studie umístitelnosti - Čihadlo, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2017

Špínka O. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018

Bureš P. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Horka, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2017

Špínka O. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Hrádek, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018

Špínka O. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Březový potok, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018

Bureš P. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čertovka, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018

Bureš P. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Magdaléna, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018

Fejt F., Kobylka D.: Optimalizace zavážení VJP do UOS, závěrečná zpráva, 350/2019, ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, Praha, 2019

2.3 Přehled a zdůvodnění použitých vstupních údajů

V rámci řešení jsou uvažovány reálné lokality: Kraví hora, Březový potok, Čertovka, Čihadlo, Horka, Hrádek a Magdaléna. Na základě dodatečného zadání připraveného ve 2. čtvrtletí 2017 byly přidány k původním lokalitám dvě další: Janoch (polygon ETE jih) a Na Skalním (polygon EDU západ). Pro teoretické studie byla dále řešena hypotetická referenční lokalita, jejíž termofyzikální parametry byly získány zprůměrováním termofyzikálních vlastností reálných lokalit s výjimkou lokalit Janoch a Na Skalním, neboť tyto hodnoty byly k dispozici až po zpracování referenční lokality.

Teplotní výpočty úložiště jsou podle zadání řešeny pro 3 typy UOS, resp. vyhořelého jaderného paliva: NJZ, ETE a EDU. U všech typů je pak vždy řešena varianta ukládání horizontální a jednoduchá vertikální. V rámci zadání byla testována rovněž varianta dvojitého vertikálního ukládání (2 UOS v jednom vertikálním vrtu nad sebou). V průběhu výpočtů na lokalitě Kraví hora však byla prokázána výrazná závislost dosahovaných výsledků varianty dvojitého vertikálního ukládání na některých konzervativních předpokladech, které nelze bez podrobných výpočtů (zejména pevnostních bentonitové vrstvy, vnitřních teplotních polí v UOS, atd.) odstranit. Z uvedeného důvodu proto tato varianta ukládání v analytických optimalizačních výpočtech nevychází lépe oproti jednoduchému vertikálnímu a nebyla již dále rozvíjena.

Předpokládaný způsob zajištění dlouhodobé těsnosti UOS je jeho obalení vrstvou bentonitu, který rozloží působící horninové tlaky, utěsní UOS v HB a zamezí přímému přístupu podzemní vody k UOS. Uvedená vrstva bentonitu je z pevnostních důvodů různá v horizontální a vertikální variantě ukládání. Mění se rovněž podle použitého typu UOS, neboť slouží jako výplň mezi UOS o různých průměrech podle typu VJP a vždy stejných vývrtů v HB (podle typu ukládání - horizontální a vertikální). Aby byla zaručena minimální potřebná vrstva bentonitu, mají mít vrty pro UOS v HB při vertikálním ukládání průměr 1800 mm a při horizontálním ukládání, kvůli vyššímu mechanickému zatížení, průměr 2200 mm. Protože v současné době není ještě známa přesnost vrtání v HB, míra souososti UOS a vývrtu po uložení (zejména při horizontálním ukládání), kvalita zaplnění bentonitové vrstvy mezi UOS a vývrtem a celkově řešení rozhraní bentonit-HB, bylo nezbytné přijmout v modelu určitá zjednodušení. Bentonit je proto uvažován ve vnějším průměru 1800 mm pro vertikální ukládání a 2100 mm pro horizontální ukládání podle [11] a [12]. Uvedené hodnoty vycházejí z minimální požadované tloušťky bentonitu a zjednodušeně představují v případě horizontálního ukládání situaci s UOS ležícím vlastní vahou excentricky na dně vývrtu. Nepopisují skutečnou geometrii a podobu rozhraní vrt/bentonit, ta je započtena konzervativně pomocí vzduchové mezery, viz níže.

Bentonit je pro tepelné výpočty zjednodušeně zadán geometrií, součinitelem tepelné vodivosti $0,7 \text{ W/mK}$ a limitní teplotou bentonitu $t_{\max, B} = 95 \text{ °C}$, která nesmí být kvůli ztrátě jeho vlastností nikdy a na žádném místě v HÚ překročena. Díky zjednodušení na statický výpočet (viz dále) není zapotřebí zadávat další termofyzikální vlastnosti bentonitu (hustota, měrná tepelná kapacita). Uvažovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti je stanovena konzervativně a odpovídá méně hustému či vodou málo nasycenému materiálu (pod 50 %, [8]). Protože počáteční saturace vodou může být různá a s časem se bentonit vlivem teplotního zatížení směrem od vnitřního povrchu vysouší, dochází k prostorovým a časovým změnám součinitele tepelné vodivosti. V přesných budoucích numerických analýzách bude zapotřebí tyto závislosti zohlednit, ovšem při současném stupni rozpracovanosti návrhu HÚ a jeho provozu v ČR a návrhu konstrukce UOS bylo provedeno uvedené konzervativní



zjednodušení. Většina zjednodušujících studií uvažuje efektivní součinitel tepelné vodivosti (tj. po zohlednění distribuce vlhkosti) kompaktních bentonitových bloků pro celou vrstvu cca 1 W/mK (viz např. [8] nebo [7]).

Na rozhraní bentonitu s HB je předpokládána vzduchová mezera o tloušťce 2 mm, která konzervativně klade vedení tepla značný odpor a výpočtově nahrazuje v praxi reálnější, avšak v současné době neznámé, vrstvy (např. neúplné zaplnění mezery bentonitem apod.). V mezeře je z důvodu konzervativnosti výsledků a zjednodušení (tj. linearizace) úlohy zanedbáno sdílení tepla sáláním a přirozenou konvekcí. Vzhledem k tomu, že tepelné sálání může v obdobných podmínkách přenášet až desítky procent celkového tepelného toku, jde o konzervativní předpoklad. Vzduch má součinitel tepelné vodivosti 0,0258 W/mK, což odpovídá suchému vzduchu o teplotě 30 °C a atmosférickém tlaku podle [13]. Mezera uvažovaná v uvedené podobě má lineární odpor vedení tepla cca 0,0369 Wm/K pro horizontální ukládání a 0,043 Wm/K pro vertikální ukládání. Výpočtově tak nahrazuje např.: 55mm vrstvu bentonitu o součiniteli tepelné vodivosti 0,7 W/mK, 123 mm vrstvu materiálu o součiniteli tepelné vodivosti 1,5 W/mK, vzduchovou mezeru o větší tloušťce s uvažovanou radiací apod. Po započítání mezery do efektivního součinitele tepelné vodivosti, který jednou hodnotou nahrazuje zjednodušeně více vrstev s různými vlastnostmi (tloušťkou a součinitelem tepelné vodivosti), viz např. [7] nebo [8], se pak součinitel tepelné vodivosti bentonitu sníží:

- Při vertikálním ukládání: UOS VVER-1000 a NJZ na 0,6322 W/mK, UOS VVER-440 na 0,653 W/mK
- Při horizontálním ukládání: UOS VVER-1000 a NJZ na 0,653 W/mK, UOS VVER-440 na 0,666 W/mK

Přesné vlastnosti spojení bentonitu s HB, z hlediska tepelných výpočtů velikost tepelného odporu této vrstvy a její rozměry, jsou dosud neznámé a jsou stále součástí vývoje projektu HÚ a vývoje celého ukládacího procesu. Budou ovlivněny např. vrtáním (přesností a potřebnými tolerancemi), způsobem ukládání a utěsnění (horizontální nebo vertikální, superkontejner nebo vkládání vrstev, použitými materiály, atd.). U horizontálního ukládání se navíc vlastnosti tohoto rozhraní budou po obvodu měnit kvůli konstrukční a provozní nesouososti bentonitu - vrt, viz např. [8]. Vhodnou optimalizací a vývojem materiálů a technologií bude možno negativní vliv tepelného odporu vrstvy snižovat. Zvolená podoba je proto pouze modelová a v současné fázi vývoje HÚ v ČR slouží především ke vzájemnému srovnání jednotlivých lokalit při vždy stejných výpočetních podmínkách.

Základní parametry pro počítané varianty jsou:

UOS NJZ: počet UOS: 2700 ks, průměr UOS 1050 mm, průměr včetně bentonitu pro horizontální ukládání 2100 mm, průměr včetně bentonitu v HB pro vertikální ukládání 1800 mm, délka PS 4596 mm, generovaný tepelný výkon v UOS v době zavezení 1221 W.

UOS ETE: počet UOS: 1800 ks, průměr UOS 1050 mm, průměr včetně bentonitu pro horizontální ukládání 2100 mm, průměr včetně bentonitu pro vertikální ukládání 1800 mm, délka PS 4596 mm, generovaný tepelný výkon v UOS v době zavezení 1125 W.

UOS EDU: počet UOS: 3100 ks, průměr UOS 805 mm, průměr včetně bentonitu pro horizontální ukládání 2100 mm, průměr včetně bentonitu pro vertikální ukládání 1800 mm, délka PS 3217 mm, generovaný tepelný výkon v UOS v době zavezení 655 W.

Pro určení tepelného výkonu jednotlivých typů UOS je určující zadaná doba od vyvezení z AZ reaktoru 65 let, vyhoření paliva a typ palivových souborů (hmotnost uranu). Vyhoření paliva a typ palivových souborů byl pro jednotlivé reaktory určen na základě středování dostupných dat o vyhořelém jaderném palivu, viz dále popis modelu v kap.3.1.

Pro všechny lokality je uvažována jednotná hloubka -500m pod povrchem, čemuž kvůli geotermálnímu gradientu 0,03 K/m (viz [19]) a střední roční teplotě povrchu 10 °C odpovídá počáteční teplota v HB 25 °C. Toto zjednodušení bylo uvažováno především kvůli nedostatku konkrétních dat z průzkumů na jednotlivých lokalitách, protože skutečná teplota v HB pod povrchem se může místo od místa značně lišit. Počáteční teplota v HB má přitom na výsledky nezanedbatelný vliv, takže budoucí upřesnění této veličiny může návrh úložiště ještě významně ovlivnit.

3 Optimalizace vzdálenosti UOS

3.1 Vytvoření modelu pro určení roztečí mezi UOS pro horizontální, vertikální a dvojité vertikální ukládání UOS

Z pohledu tepelného výpočtu je optimalizace vzdáleností mezi jednotlivými UOS a tunely (vrty při horizontálním ukládání) hledáním minimálních možných vzdáleností mezi zdroji tepla (jednotlivé UOS) vytvářejícími nestacionární teplotní pole, které nesmí v žádném časovém okamžiku a v žádném místě úložiště překročit zadanou limitní teplotu. Omezením při určování roztečí je minimální vzdálenost mezi tunely, daná pevnostními parametry HB, která byla stanovena na 25 m [Bureš et. al – statický výpočet]. Teplotní pole je sledováno v časovém intervalu od zavezení UOS do doby kdy je ohřátí HB patrné, resp. může mít vliv na HB (cca 10⁵ let). Protože nejsou dány jiné (např. legislativní, geologické, konstrukční) limity teplot v úložišti a HB, je uvažovanou limitou pro všechny (optimalizační, dlouhodobé) tepelné výpočty maximální povolená teplota bentonitu $t_{m,B} = 95$ °C.

Nejvyšší teplota bentonitu se vždy nachází na rozhraní UOS-bentonit, což je dáno směrem vedení tepla od UOS do HB. Jestliže je zjednodušeně a z konzervativních důvodů při výpočtu uvažován pouze stacionární odvod tepla z UOS v radiálním směru (tj. odvod tepla horní a dolní podstavou UOS je zanedbán a není uvažován rozehrév bentonitu v počátečních fázích po zavezení), je vedení tepla v geometrii UOS-bentonit-mezera (popsané výše) dáno vztahem:

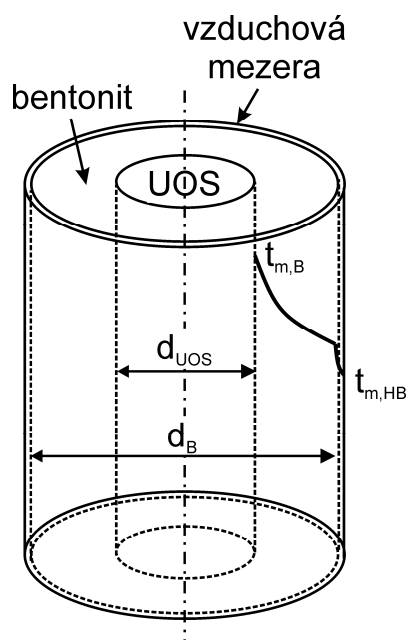
$$q_l = \frac{\pi(t_{m,B} - t_{m,HB})}{\frac{1}{2\lambda_B} \ln \frac{d_B}{d_{UOS}} + \frac{1}{2\lambda_{vz}} \ln \frac{d_{UOS} + 2\delta_{vz}}{d_{UOS}}}$$

kde: q_l je lineární výkon (bližší popis viz níže), index B se váže k bentonitu a vz ke vzduchové mezeře, δ je šířka mezery. První člen ve jmenovateli představuje lineární odpor bentonitu, druhý lineární odpor mezery. Označení teplot a rozměry odpovídají Obr.1. Uvedené zjednodušení na stacionární vedení tepla je uvažováno rovněž v obdobných analýzách prováděných v SKB a Posiva Oy (např. [8] a [7]) a je umožněno poměrně malými změnami teplotního pole a tepelného výkonu v čase.

Zjednodušení na jednorozměrné vedení tepla v radiálním směru přináší do řešení mnohé neurčitosti, neboť velmi zjednodušeně nahrazuje skutečné třírozměrné teplotní pole v okolí

UOS. Klíčovým faktorem pro přesnost výsledků je určení pomocných koeficientů určujících tepelný tok v radiálním směru a zohledňujících nerovnoměrnosti v prostorovém vedení tepla. Přesné určení těchto faktorů je možné pouze pomocí numerických výpočtů minimálně ve 2D přiblížení, které jsou však navázány na přesnou znalost konstrukce UOS a jeho schopnost rozvádět teplo z aktivní části palivových souborů do okolí a rovněž na podrobnější popis okolí UOS.

Analýzy společností SKB a Posiva Oy (např. [8] a [7]) rovněž uvažují jednorozměrné vedení tepla v radiálním směru, které je kombinováno se srovnávacími numerickými 2D výpočty sloužícími k určení pomocných koeficientů. Vzhledem k tomu, že UOS uvažovaný uvedenými společnostmi je zcela jiné konstrukce a materiálového složení, nelze výsledky z uvedených zpráv bezzbytku přenášet na situaci v ČR.



Obr. 1 Počítaná geometrie UOS-bentonit-HB a naznačený průběh teplot v této konfiguraci

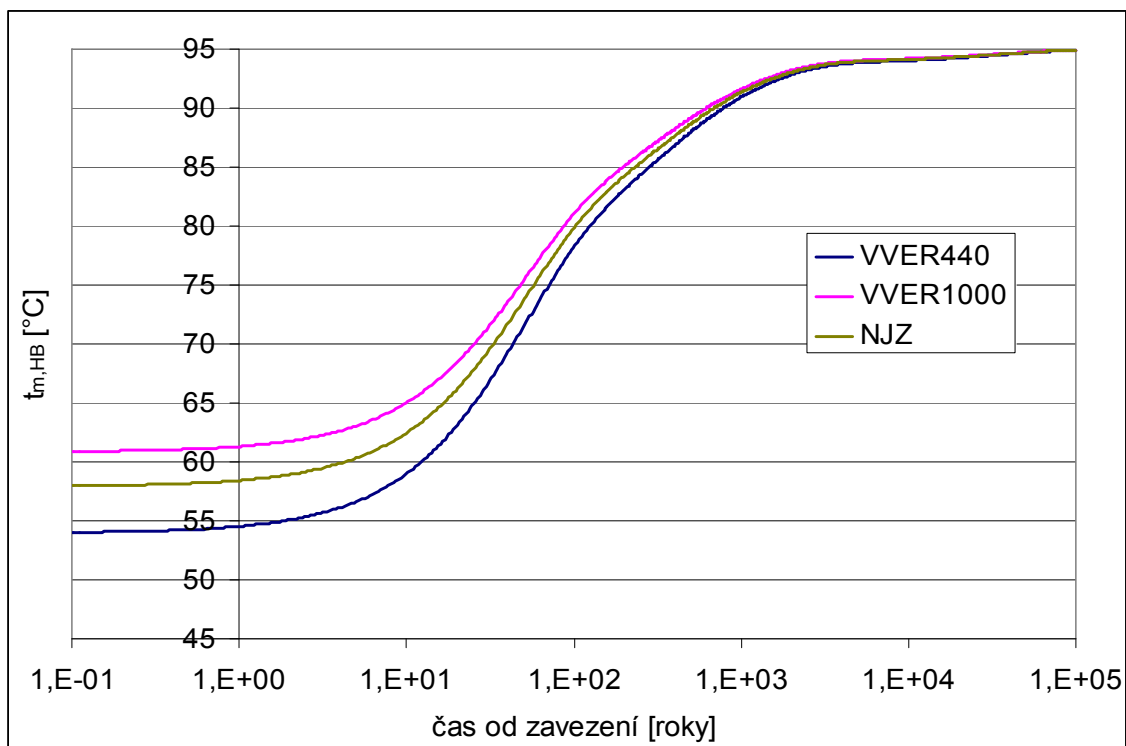
Pro maximální povolenou teplotu v HB (tj. teplotu na rozhraní bentonit-HB) odvozením platí:

$$t_{m,HB} = t_{m,B} - \frac{q_l}{\pi} \left[\frac{1}{2\lambda_B} \ln \frac{d_B}{d_{UOS}} + \frac{1}{2\lambda_{vz}} \ln \frac{d_{UOS} + 2\delta_{vz}}{d_{UOS}} \right]$$

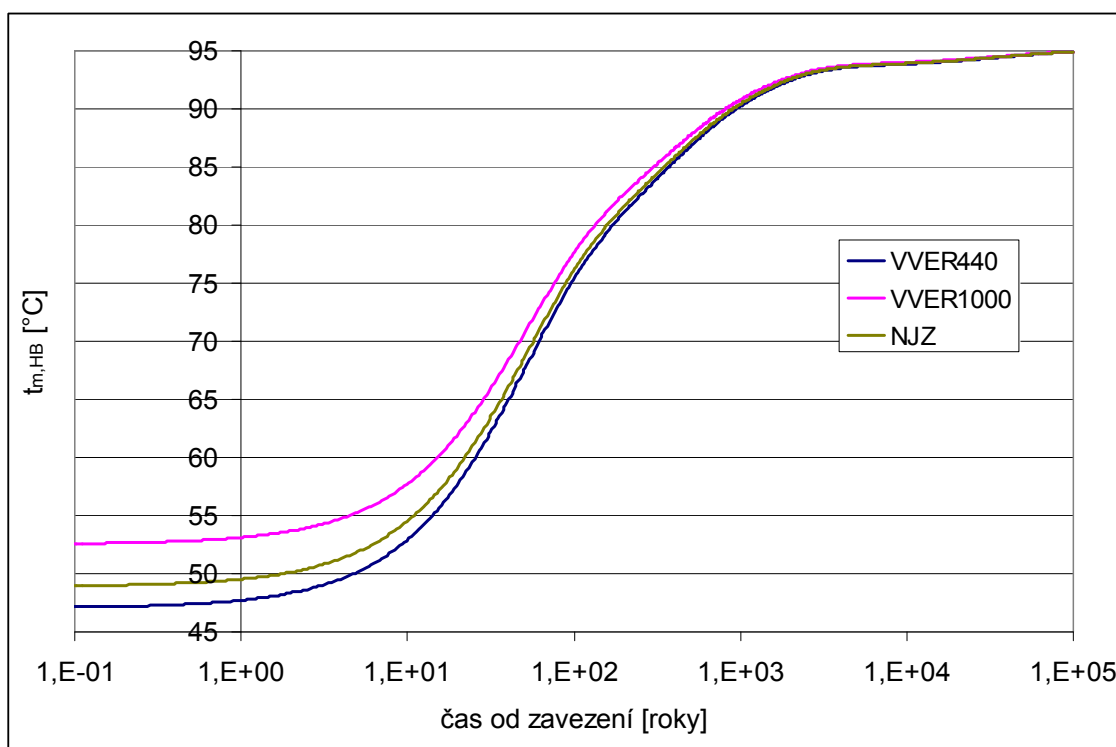
Jak vyplývá ze zvoleného modelu je maximální možná teplota v HB (označená $t_{m,HB}$) nejen funkcí času a typu UOS (viz určení q_l definované a komentované v textu dále), ale mění se rovněž podle varianty ukládání s tloušťkou bentonitové vrstvy (podíl d_b/d_{UOS}). Maximální teplota HB $t_{m,HB}$ je tedy přímo úměrná aktuálnímu tepelnému výkonu UOS a tloušťce bentonitové vrstvy a nepřímo úměrná vztažné délce UOS a součinitelům tepelné vodivosti bariér (bentonit, rozhraní bentonitu a HB).

Maximální teplota HB $t_{m,HB}$ je teplotou srovnávací, která nesmí být překročena. Pokud by došlo k jejímu překročení, bude ve stejném časovém okamžiku překročena limitní teplota 95 °C pro bentonit. Není teplotou HB, které bude ve skutečnosti dosahováno, ale slouží pouze pro srovnání s dosahovanými teplotami. Výpočet teplot HB pro jednotlivé lokality a případy ukládání je proveden v kap. 4.

Jako funkce času je průběh maximálních teplot rozhraní bentonit-HB pro jednotlivé typy UOS a tepelný výkon UOS odpovídající zavážení do HÚ po 65 letech skladování vykreslen pro vertikální ukládání na Obr.2 a pro horizontální na Obr.3.



Obr.2 Maximální povolená teplota rozhraní bentonit-HB pro vertikální ukládání, 65 let skladování



Obr.3 Maximální povolená teplota rozhraní bentonit-HB pro horizontální ukládání, 65 let skladování



V obou případech ukládání se křivky zvedají od minimálních hodnot při nejvyšším zbytkovém tepelném výkonu UOS v časech po zavezení UOS do HB až k limitním 95°C na vnitřní straně bentonitu, kterých by dosáhly při nulovém zbytkovém výkonu. Přestože má UOS EDU nejnižší celkový tepelný výkon, je současně $t_{m,HB}$ nejnižší. Tento paradox je dán kombinací dvou faktorů, kdy výkon UOS je vztažen oproti NJZ či ETE na kratší délku 3,217 m (tj. délku PS pro reaktor VVER-440) a zejména větší vrstvou bentonitu danou menším průměrem UOS EDU. Nejvyšší povolené $t_{m,HB}$ vychází pro UOS ETE, kdy je tloušťka bentonitové vrstvy menší a tepelný výkon je přitom nižší než pro UOS NJZ. Povolená $t_{m,HB}$ pro UOS s palivem z NJZ pak vychází mezi těmito mezními křivkami, protože tloušťka bentonitové vrstvy je menší než u UOS EDU, ovšem zbytkový tepelný výkon UOS NJZ je vyšší než u UOS ETE. Z důvodu větší tloušťky bentonitové vrstvy rovněž vychází limitní teploty pro HB nižší při horizontální variantě ukládání proti vertikální a to ve všech variantách UOS.

Lineární výkon q_l používaný pro výpočet limitní teploty na rozhraní bentonit-HB je dán celkovým tepelným výkonem UOS (jeho určení je diskutováno v textu dále), délkou na kterou je výkon vztažen a faktorem k_A , který zohledňuje nerovnoměrné vyhoření paliva po délce PS a třírozměrné vedení tepla v soustavě PS-koš v UOS - obal UOS:


$$q_l = \frac{Q_{UOS}}{l} k_A$$

Q_{UOS} je pro každý typ paliva, resp. UOS, dán jako funkce času a jeho výpočet je popsán v dalších odstavcích. Vztažnou délkou l byla po dohodě se zadavatelem zvolena celková délka PS (pro každé VJP jiná) a faktor k_A byl pro všechny typy UOS zvolen stejný, s hodnotou 1,025, tj. bezpečnostní navýšení oproti střednímu q_l je o 2,5 %.

Přesné hodnoty těchto veličin by byly dány konkrétním konstrukčním řešením koše UOS, tedy jeho schopností spolu se zavezeným VJP rozvádět uvnitř UOS teplo z místa, kde vzniká (aktivní část proutků) do tělesa UOS a závislostí na časově proměnném (zejména v počátku po zavezení) vedení tepla v konfiguraci UOS-bentonit-HB. Vzhledem k tomu, že konkrétní řešení koše UOS i celkové řešení UOS se může od nynějšího návrhu lišit a rovněž termofyzikální parametry bentonitu a HB nejsou přesně známy (resp. u HB se liší případ od případu), byly použité hodnoty konzervativně zvoleny.

Volba je kompromisem mezi možnými limitními přístupy: nejmenší délka - délka aktivní části palivového proutku, největší délka - délka UOS. Nerovnoměrné vyhoření paliva lze pak brát v rozsahu 1 (nekonzervativní) až cca 1,15, kdy cca 15 % je maximální převýšení vyhoření po délce oproti střednímu pro běžně provozované palivo VVER. Volby vztažné délky a součinitele nerovnoměrnosti byly provedeny tak, aby nebyly příliš konzervativní, ale současně aby nemohlo v praxi dojít k jejich podhodnocení. Jsou rovněž podloženy zjednodušenými numerickými výpočty teplotních polí ve 2D válcové geometrii UOS-bentonit-HB o průměru 32 m v časech do 15 let po zavezení UOS, viz dále v kap. 3.4.

Tepelný výkon UOS (Q_{UOS}) byl pro optimalizační výpočty roztečí v HÚ určen jako výkon produkovaný palivovými soubory v UOS (3 nebo 7 podle typu paliva a UOS). Výkon jednotlivých PS je přitom fyzikálně dán dobou od vyvezení paliva z AZ reaktoru (shodná pro všechny typy paliva 65 let), vyhořením paliva a množstvím uranu v PS. Protože vyhoření vyvážených PS z AZ je různé a stejně tak se v průběhu provozu elektráren mírně mění i konstrukce PS (tj. mění se v nich např. hmotnost UO_2 , obohacení paliva izotopem $U235$, použití a množství vyhořívajících absorbátorů, i další konstrukční parametry), byl střední tepelný výkon PS určen váženým průměrováním vyhoření podle počtu vyvážených PS jejich

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

vyhoření a hmotnosti uranu z dostupných dat o vyhořelém jaderném palivu z [10]. VJP z budoucího provozu současných elektráren bylo odhadnuto jako současné nejmodernější používané PS vyhořelé do maximální povolené hodnoty jeho výrobcem. Typ NJZ není dosud znám, ale v analýzách bylo zjednodušeně uvažováno palivo odpovídajícímu modernímu reaktoru III generace s výkonem okolo 1000 MWe a výše s vysokým vyhořením, tj. např. TVEL s vysokým vyhořením podle [10].

UOS pro palivo VVER 440

Při výpočtu středního vyhoření byla konzervativně použita nejméně příznivá data z [10], která jsou shrnuta v Tab.1.

Tab.1 Použitá data o vyhoření k palivu VVER-440

Typ paliva	Vyhoření MWd/kgU	Počet kusů PS
Neprofilované	20	469
Neprofilované	38	1343
Neprofilované	46	4386
Profilované	50	1902
Gd-1	56	870
Gd-2	54	672
Gd-2M	54	4104
Gd-2M - regulační	54	582

Tab.2 Parametry různých paliv VVER-440, [10]

Typ paliva	Neprofilované, profilované, Gd-1	Gd-2, Gd-2M
Hm. uranu v pracovních PS	120kg	126,3kg
Hm. uranu v pal. části regulačního PS	115,2kg	120,3kg

Při výpočtu střední hmotnosti uranu v PS byla použita data z [10], shrnutá v Tab.2. Na základě váženého průměrování přes hmotnost a vyhoření pak vyšlo střední vyhoření PS jako 46,5 MWd/kgU, což bylo konzervativně zaokrouhleno nahoru na 50 MWd/kgU. Průměrná hmotnost uranu na PS, získaná rovněž váženým průměrováním přes počty PS, je 121,7 kgU, což je po konzervativním zaokrouhlení nahoru 122 kgU/PS.

Na základě používané funkce vývinu zbytkového výkonu VJP v čase a počtu 7 PS/UOS pak vychází tepelný výkon UOS v době 65 let do vyvezení z AZ 655 W/UOS.

**UOS pro palivo VVER 1000**

Při výpočtu středního vyhoření paliva VVER-1000 byla konzervativně použita nejméně příznivá data (tj. největší vyhoření) z [10]. Použité údaje jsou shrnuty v Tab.3.

Palivové soubory mají podle [10] hmotnost uranu: 496,2 kgU/PS VVANTAGE a 464 kgU/PS TVSA-T.

Na základě váženého průměrování přes hmotnost a vyhoření pak vyšlo střední vyhoření PS jako 53 MWd/kgU. Průměrná hmotnost uranu na PS, získaná rovněž váženým průměrováním přes počty PS, je 473,13 kgU.

Na základě používané funkce vývinu zbytkového výkonu VJP v čase a počtu 3 PS/UOS pak vychází tepelný výkon UOS v době 65 let do vyvezení z AZ 1125 W/UOS.

Tab.3 Použitá data o vyhoření k palivu VVER-1000

Typ paliva	Vyhoření MWd/kgU	Počet kusů PS
VVANTAGE-6	24,8	72
	32,9	68
	36,6	78
	5,09	1
	10	12
	21,9	6
	40,6	84
	4,7	1
	16,8	6
	35,8	12
	19,7	18
	28,4	30
	37,6	54
	43,7	30
	30	18
	32,9	6
	41,1	12
	57	448
TVSA-T	57	2414

UOS pro palivo NJZ

Na základě používané funkce vývinu zbytkového výkonu VJP v čase, počtu 3 PS/UOS a vyhoření 60 MWd/kgU vychází tepelný výkon UOS v době 65 let do vyvezení z AZ



1221 W/UOS. Uvedené vyhoření bylo převzato z [10] a oproti maximálnímu povolenému vyhoření paliva udávanému výrobcem (u nových paliv 62-68 MWd/kgU) uvažuje, že maximálních hodnot nebývá na elektrárnách zpravidla dosaženo.

Tepelný výkon VJP je uvažován jako funkce času v podobě pro měrný tepelný výkon W/t_U :

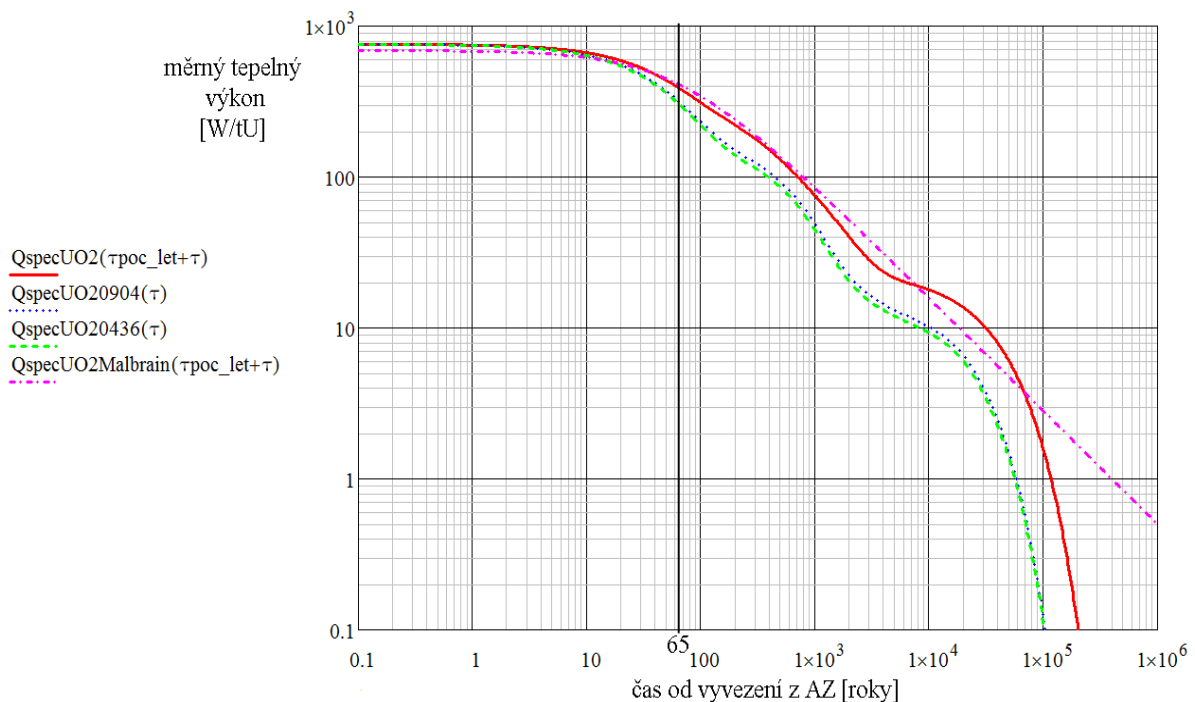
$$q_m = \sum_{i=0}^3 A_i \exp(-B_i \tau)$$

kde τ je v rocích čas od vyvezení z AZ a konstanty A a B jsou uvedeny v Tab.4

Tab.4 Konstanty pro výpočet měrného zbytkového tepelného výkonu

	0	1	2	3
A_i	1813	231,1	140,5	23,43
B_i	$2,24 \times 10^{-2}$	$3,81 \times 10^{-3}$	$9,95 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-5}$

Tento model byl převzat z literatury [20], kde byl odvozen na základě fitování na experimentální data a výpočty pro palivo typu PWR (čtvercová mříž) o vyhoření 55 MWd/kgU. Srovnání s výpočty provedenými na KJR je možno nalézt v [29] a ukazuje dostatečnou přesnost používaného modelu pro paliva ze současných elektráren typu VVER. Bylo rovněž provedeno srovnání s jinými dostupnými modely z literatury [7], [18], které ukazuje, že zvolený model patří mezi nejkonzervativnější. Srovnání ukazuje graf na Obr.4, kde použitý model je označen červenou plnou křivkou, alternativní modely z literatury jsou čárkované nebo čerchované křivky.



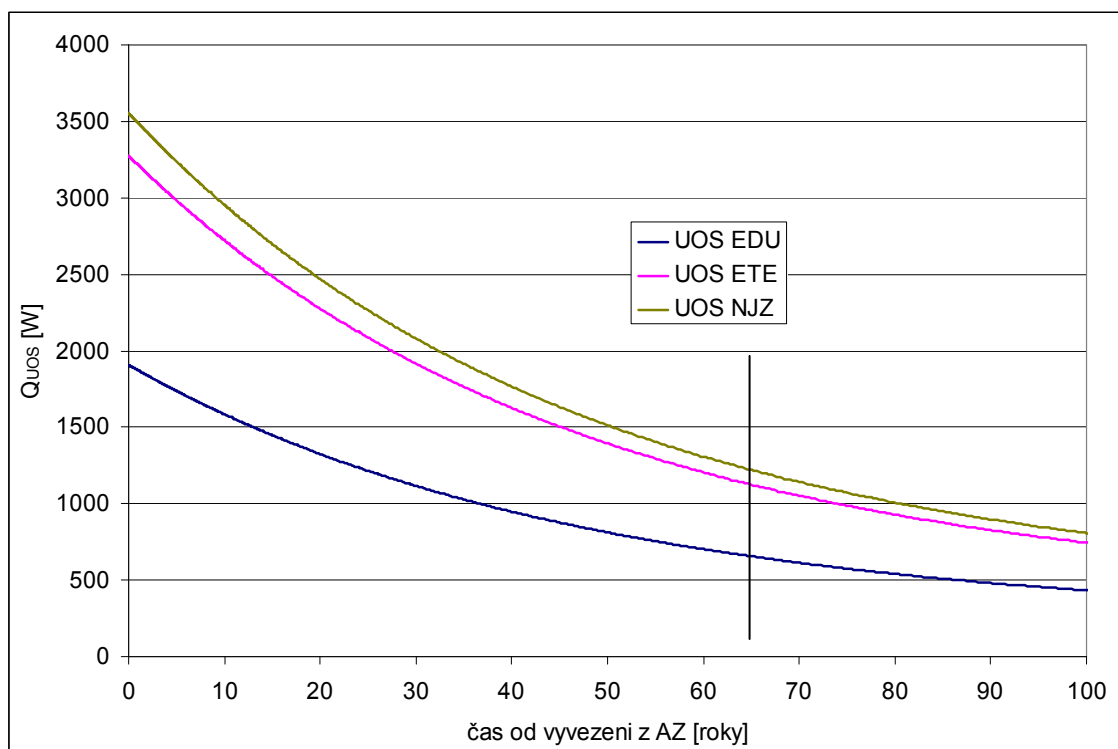
Obr.4 Srovnání použitého modelu tepelného výkonu jako funkce času

Skutečný výkon UOS je pak fitován přes počet palivových souborů v UOS, hmotnost uranu v palivovém souboru a na základě uvažovaného vyhoření:

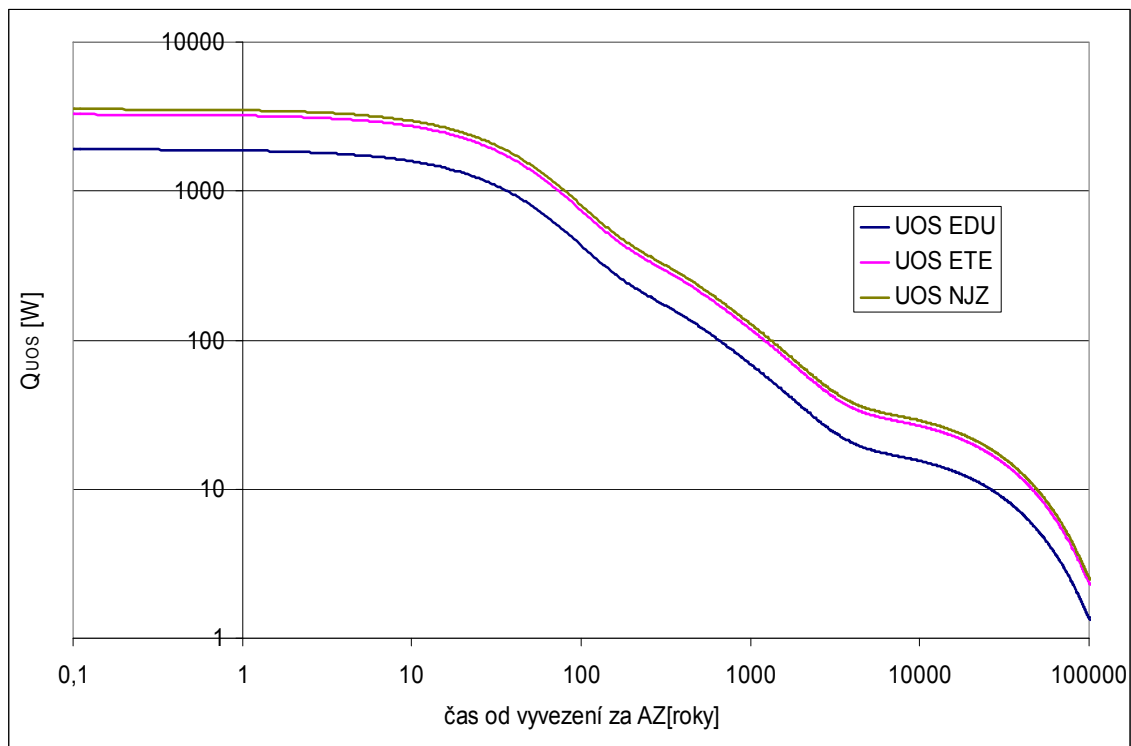
- pro UOS NJZ platí: $Q_{UOS} = q_m \cdot 3 \cdot 0,496 \cdot 1,082$
- pro UOS ETE platí: $Q_{UOS} = q_m \cdot 3 \cdot 0,496 \cdot 0,997$
- pro UOS EDU platí: $Q_{UOS} = q_m \cdot 0,864$

Nejistoty takto určeného tepelného výkonu UOS jsou spojeny zejména s omezenými znalostmi o VJP (převzaty z [10]) a s předpoklady na podobu VJP z budoucích let provozu. Uvažovaný střední výkon UOS by rovněž musel být zaručen vhodnou kombinací vyhořelých PS z různých přepravních obalových souborů CASTOR při překládce PS v horké komoře.

Výkony jednotlivých typů UOS jsou v závislosti na čase pro bližší časy od vyvezení z AZ zobrazeny v lineárním měřítku v grafu na Obr.5. Tento graf může sloužit pro vzájemné srovnávání výkonů UOS v době zavážení do HÚ a rovněž pro odečet prodloužení doby skladování při potřebě nechat výkon snížit na úroveň jiného typu UOS. Výkony jednotlivých typů UOS pro celé počítané období HÚ ukazuje v logaritmických souřadnicích graf na Obr.6.

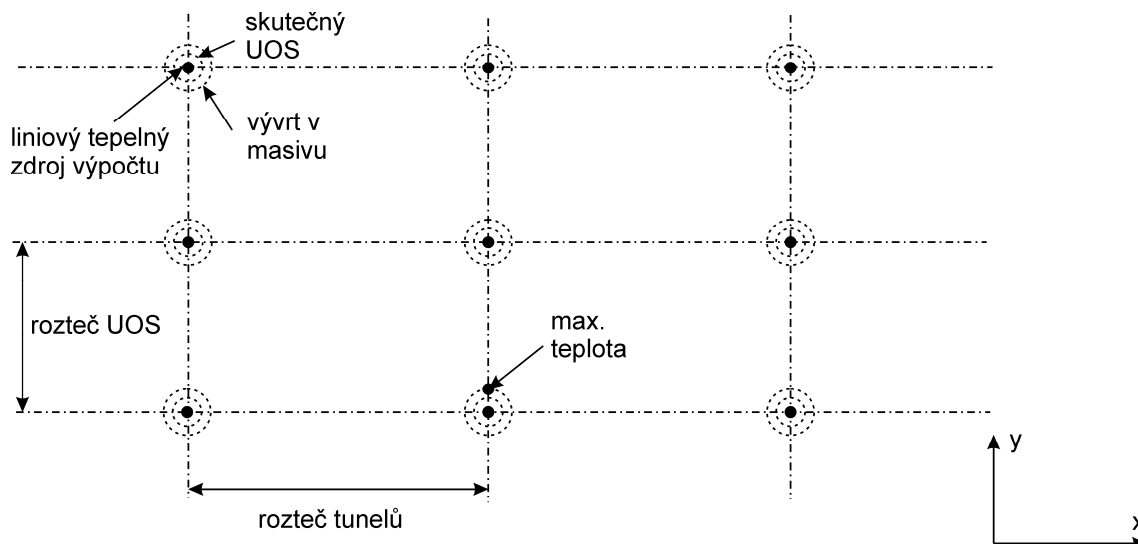


Obr.5 Výkony UOS jako funkce času od vyvezení z AZ – časový úsek od vyvezení paliva z AZ do 100 let, čarou zvýrazněna předpokládaná celková doba skladování 65 let v bazénech a meziskladu



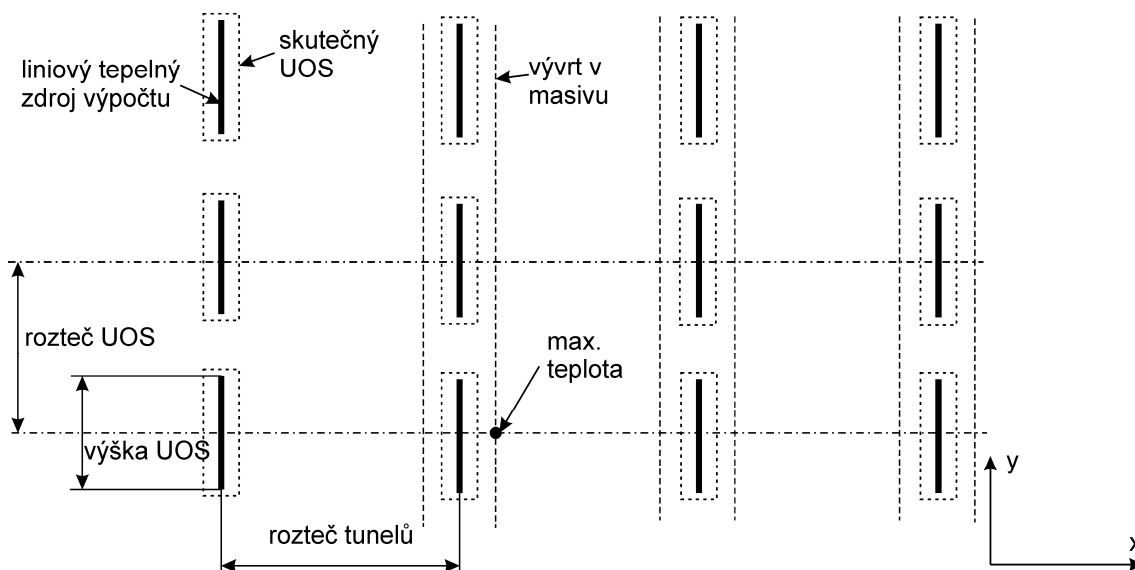
Obr.6 Výkony UOS jako funkce času od vyvezení z AZ – celý sledovaný časový úsek

Zdroje tepla (UOS) jsou v analytickém modelu předpokládány jako liniové (nulového poloměru) zadané délky a po své délce konstantní. Výpočtem vytvořené teplotní pole v HB neuvažuje bentonit a materiály UOS, takže v krátkých časových intervalech po zavezení UOS, kdy dochází k ohřevu především těchto materiálů, není výpočet přesný. Uvedené zjednodušení je také důvodem, proč jsou ve studii sledovány teploty vždy až od času 0,1 roku po zavezení UOS do úložiště. Srovnávací 2D numerické výpočty však ukazují, že v kritických obdobích pro optimalizaci již analytický model dává dostatečně přesné výsledky. Teplotní pole v HB vzniklé okolo každého UOS má maximum vždy v polovině výšky UOS a kvůli ovlivnění a superpozici s teplotními poli z okolních UOS není zcela symetrické, ale má eliptický charakter. Při vertikálním ukládání se maximální teplota HB nachází ze strany nejbližšího UOS. Protože rozteče mezi UOS jsou ze stavebních důvodů menší než rozteče mezi tunely, je maximální teplota HB na poloměru vývrtu vždy na spojnici nejbližších UOS, viz Obr.7.



Obr.7 Geometrie a maximální teploty HB u vertikálního uspořádání

U horizontálního ukládání se maximální teplota HB rovněž nalézá na poloměru vývrtu ze strany dalšího blízkého UOS, ovšem protože výška UOS je zde totožná se směrem y je tentokrát ve směru rozteče tunelů (viz Obr.8). Maximální teplota je v optimalizačním výpočtu vždy uvažována u středového UOS z celého pole UOS.



Obr.8 Geometrie a maximální teploty HB u horizontálního uspořádání

Model výpočtu teplotního pole v HB při optimalizaci roztečí je postaven na analytickém nestacionárním 3D řešení Fourierovy diferenciální rovnice vedení tepla s lineovým zdrojem tepla a s časově proměnným výkonem. Jeho matematicko-fyzikální teorie je vysvětlena v [7], [8], [2], [3] a [6]. Zvýšení teploty oproti počátečnímu stavu okolo lineového zdroje o výšce H_{UOS} a proměnném výkonu, který je umístěn polovinou své výšky v počátku kartézského souřadného systému a orientován podél osy z , je v čase τ dáno vztahem:



$$t_{UOS}(x, y, z, \tau) = \int_0^{\tau} \int_{-H_{UOS}/2}^{H_{UOS}/2} \frac{Q_{UOS}(\tau^*)}{H_{UOS} \rho_m c_m (4\pi a_m [\tau - \tau^*])^{1,5}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2 + (z - z^*)^2}{4a_m [\tau - \tau^*]}\right) dz^* d\tau^*$$

kde: a_m je součinitel teplotní vodivosti (tepelná difuzivita) a Q_{UOS} je dáno funkcí času.

Při větším počtu zdrojů je pak teplota v požadovaném bodě x , y , z a v čase τ dána superpozicí počáteční teploty a přírůstkem teploty vlivem všech zdrojů v počítané oblasti. Jestliže jsou zdroje rozloženy v pravidelné mříži n vývrtů s roztečí d_s a m tunelů s roztečí d_t je vyjádření celkové teploty pro vertikálně uspořádané liniové zdroje v době τ dáno pomocí sumy:

$$t(x, y, z, \tau) = t_{in}(z) + \sum_m \sum_n t_{UOS}(x - md_t, y - nd_s, z, \tau)$$

Ve vztahu znamenají argumenty funkce t_{UOS} vzdálenosti jednotlivých zdrojů od hledaného místa a t_{in} je počáteční teplota v hloubce z .

Protože dvojitá integrace je při výpočtu časově poměrně náročná, je vhodné ji aproximovat chybovou funkcí:

$$t_v(x, y, z, \tau) = \int_0^{\tau} \frac{Q_{UOS}(\tau^*)}{H_{UOS} \rho_m c_m (4\pi a_m [\tau - \tau^*])^{1,5}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{4a_m [\tau - \tau^*]}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{\frac{H_{UOS}}{2}}{\sqrt{4a_m [\tau - \tau^*]}}\right) d\tau^*$$

Uvedené zjednodušení výpočtu pomocí chybové funkce přináší značnou časovou úsporu a odchylky ve výsledcích oproti přesnému matematickému řešení jsou přitom na základě citlivostní analýzy pouze v řádu tisícín °C.

Vyjádření teplotního pole pro horizontálně uspořádané liniové zdroje (viz Obr.8) má mírně pozměněné vyjádření, kdy je zapotřebí integrovat podle osy y :

$$t_{UOS}(x, y, z, \tau) = \int_0^{\tau} \int_{-H_{UOS}/2}^{H_{UOS}/2} \frac{Q_{UOS}(\tau^*)}{H_{UOS} \rho_m c_m (4\pi a_m [\tau - \tau^*])^{1,5}} \exp\left(-\frac{x^2 + (y - y^*)^2 + z^2}{4a_m [\tau - \tau^*]}\right) dy^* d\tau^*$$

Uvedený model má výhodu analytického řešení a univerzálnosti. Při použití na pravidelné mříži UOS se stejnými tepelnými výkony rovněž v jednoduchosti, kdy lze superpozici všech zdrojů řešit jednoduchou sumou. Jeho vhodná implementace umožňuje provádět automatické série velkého množství optimalizačních výpočtů.

Jako vhodné výpočetní prostředí pro řešení byl zvolen kód Mathcad 15.0 (viz [14]), který umožňuje snadné zadávání analytického výpočtu a řešení numerickou integrací. Podrobnější informace o tomto software lze nalézt např. v [14] nebo v [15]. Protože se jedná o standardní komerční výpočetní kód, není nutné řešit jeho validaci nebo validaci implementovaných numerických metod. Zvolené a v kódu vytvořené modely odpovídají požadavkům na přesnost prováděných analýz, současnému stupni vývoje HÚ v ČR a jsou podobné postupům v SKB a Posiva Oy (viz např. [8] a [7]).

3.2 Testování modelu, citlivostní analýzy

Vytvořený matematicko-fyzikální model byl testován na základní funkčnost, vybrané numerické vlastnosti a metodu numerické integrace, vliv teploty zemského povrchu a vliv postupného zavážení UOS do úložiště. Pro obecné ocenění tepelného výpočtu a jeho vlivu na rozteče UOS byly rovněž provedeny citlivostní analýzy na základní termofyzikální veličiny a parametry výpočtu (počáteční teplota HB, součinitel tepelné vodivosti, výkon UOS při různé konfiguraci UOS/bentonit).

Testování funkčnosti modelu

Testování funkčnosti a správné implementace modelu v kódu Mathcad 15.0 proběhlo pomocí výpočtu časového průběhu teplot v polovině výšky UOS na rozhraní bentonit-HB pro centrální pozici v úložišti a to se vstupními parametry HB převzatými pro lokalitu Forsmark v [17] a z dalších srovnávacích teoretických analytických výpočtů ze [7]. Zadávané parametry jsou shrnuty v Tab.5.

Výsledky provedených výpočtů, pak byly srovnány s dostupnými grafickými daty z výše uvedených zpráv. Srovnání ukazuje, že vytvořený model neobsahuje principiální chyby a dostatečně přesně popisuje časový vývin teplot v úložišti. Rozdíly v průbězích teplot ze všech tří výpočtů jsou téměř shodné. Největší odchylky v řádu několika °C vykazují teploty v počátečních obdobích od zavezení 1-10 let. Tyto skutečnosti ukazují, že hlavním zdrojem odchylek bude zřejmě rozdílné zadání časové funkce tepelného výkonu a jeho fitování na čas skladování VJP, tj. dobu mezi vyvezením VJP z AZ a uložením v úložišti, při vstupním výkonu 1700 W/UOS. V rámci dlouhodobého vývoje teplot se odchylky výpočtů od výsledků z literatury snižují a jsou způsobeny nepřesným zadáním geometrie úložiště, které bylo pro testy zjednodušeno do jednoho bloku.

Tab.5 Základní parametry švédských úložišť, [17], [7]

	Jednotka	Forsmark	6m	7,5m
Počet UOS	-	6000	4756	4756
Výkon UOS	W/UOS	1700	1700	1700
Průměr vývrtu	mm	1750	1750	1750
Délka UOS	mm	4800	4830	4830
Rozteče UOS	m	6	6	7,5
Rozteče tunelů	m	40	40	40
S. tepelné vodivosti HB	W/mK	3,34	3,16	2,6
Objemová tep. kapacita HB	MJ/m ³ K	2,17	2,17	2,17
Počáteční teplota	°C	11	10,6	10,6
Počet UOS/tunel x počet tunelů	-	150 x 40	29 x 164	29 x 164

Testování matematických a numerických vlastností modelu

Při testování numerických vlastností modelu byla zjišťována citlivost výsledků na různá nastavení kódu Mathcad 15.0. Paralelní výpočty totožného zadání s různou délkou čísel typu „real“ ukazují, že výsledky výpočtů se od sebe liší maximálně v řádu jednotek tisícín °C. Při použití různých metod numerické integrace, které nabízí kód Mathcad 15.0, se výsledky výpočtů stejného zadání od sebe vzájemně neliší, některé metody integrace však nelze na řešenou úlohu použít.

Zjednodušení dvojité integrace přes čas a délku UOS do podoby jednoduchého časového integrálu s chybovou funkcí, použitelné pro vertikální variantu ukládání, vede k rozdílům ve výsledcích v řádu setin °C. Protože se čas výpočtu touto modifikací zkrátí na cca 1/5 až 1/10 (podle sledovaného počtu UOS a délky časového úseku), byla chybová funkce při optimalizačních výpočtech roztečí UOS a tunelů při výpočtu vertikálního ukládání použita.

V rámci testování modelu byl do výpočtu rovněž zahrnut vliv zemského povrchu. Tuto hraniční podmínku lze matematicky respektovat odečtením symetrického teplotního pole od všech UOS umístěných ve vzdálenosti dvou hloubek úložiště. Čas výpočtu se tím proto zdvojnásobuje. Srovnání výsledků ukázalo, že vliv teploty povrchu se začíná projevovat až v časech stovek let od zavezení úložiště (přesné časy závisí zejména na součiniteli tepelné vodivosti HB) a ovlivnění teploty je poměrně malé. Teploty při uvažování zemského povrchu bývají vždy nižší, zpravidla do 1 °C. Při optimalizačních výpočtech, kdy kritické doby pro určení roztečí jsou v jednotkách let, je proto implementace vlivu zemského povrchu zbytečná. Rovněž při výpočtech dlouhodobého teplotního vývoje na jednotlivých lokalitách byl vliv zemského povrchu konzervativně zanedbán.

Uvedené testy pomohly optimálně z hlediska výpočetní náročnosti a přesnosti nastavit výpočty a ukázaly zároveň očekávané neurčitosti výsledků. Z uvedeného důvodu byla při optimalizačních výpočtech pro určení roztečí UOS a tunelů použita ještě navíc konzervativní rezerva 0,2 °C, o kterou byla snížena limitní teplota na rozhraní bentonit-HB.

Vliv postupného zavážení UOS do úložiště

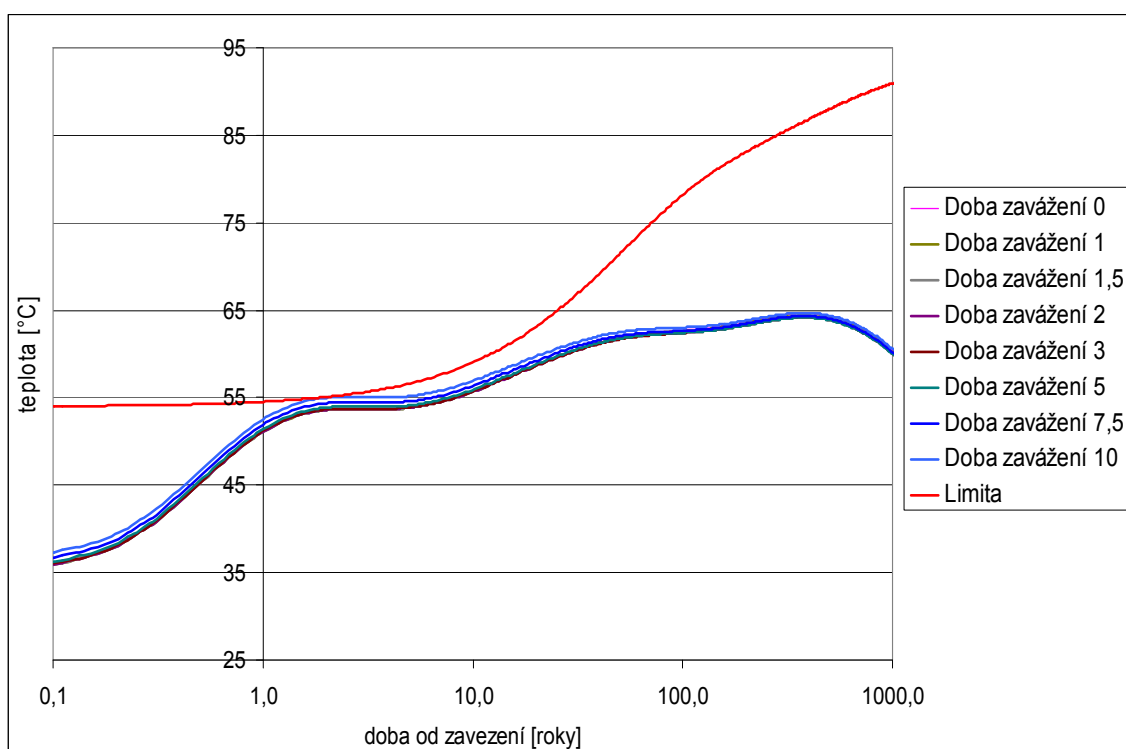
Používaný matematicko-fyzikální model popisuje vývoj teplotního pole za předpokladu současného zavezení všech UOS do úložiště. V praxi však bude zavážení postupné, což vede k situaci, kdy pozdější UOS budou zaváženy do HB v čase, kdy se jím již šíří teplotní pole od dříve zavezených UOS. Pro ocenění vlivu postupného zavážení byl modifikován model referenční lokality s vertikálním ukládáním a ražbou TBM (viz dále kap. 3.3) tak, aby dříve zavezené soubory ovlivnily počáteční teplotu sledovaného místa v úložišti. Později zavážené UOS naopak začínají produkovat tepelný výkon v oddáleném čase. Výpočty byly provedeny v souladu s metodikou provádění výpočtů na referenční lokalitě, tj. pro zavážení všech UOS s VJP VVER-440 a VVER-1000.

Ukázka výsledků výpočtů maximální teploty HB na středové pozici v bloku referenční lokality (součinitel tepelné vodivosti 2,586 W/mK) při vertikálním ukládání pro celé úložiště zavezené VJP EDU je na Obr.9. Křivka zavážení 0 dnů/UOS je případem, kdy je celé úložiště zavezeno současně. Až do doby zavážení 3 dny/UOS spolu všechny křivky splývají. Drobný nárůst teploty (v období do 10 let po zavezení v řádu desetin °C) je patrný u doby zavážení 5 dnů/UOS. Doby zavážení 7,5 a 10 dnů/UOS vedou již k výraznějšímu nárůstu teplot. V delších obdobích (cca po 100 let od zavezení HÚ) se pak teploty z jednotlivých výpočtů již

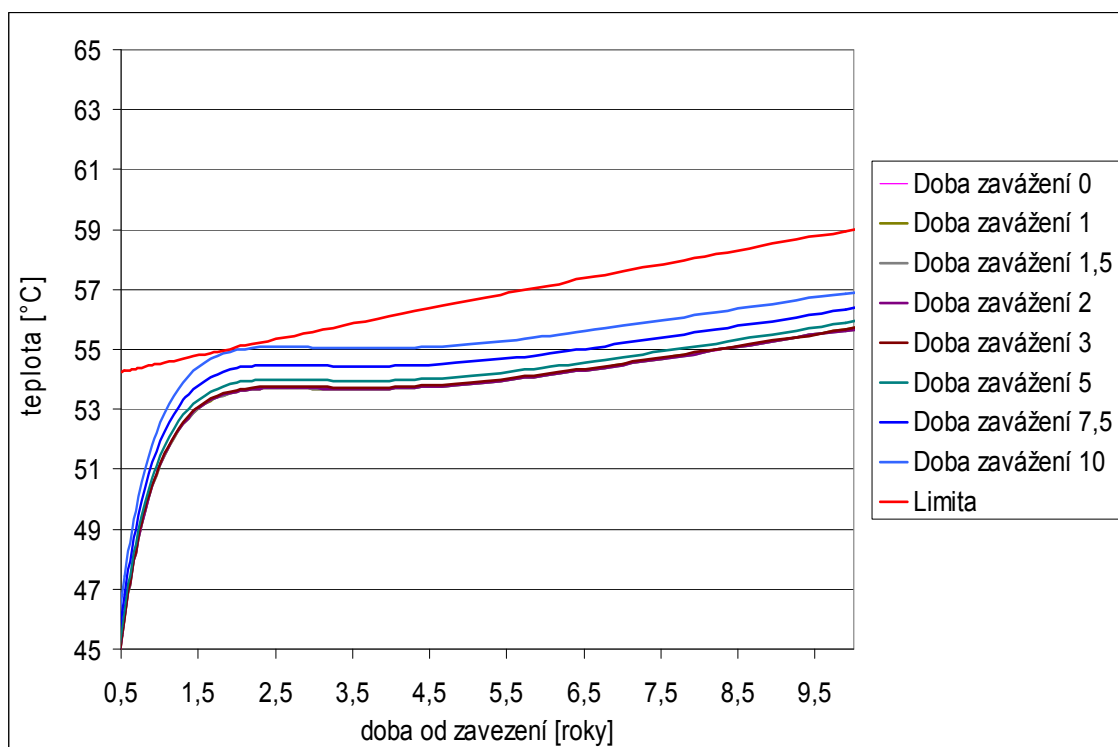
téměř shodují. Výsledky stejného výpočtu jsou pro krátký časový interval 10 let od zavezení do HÚ zobrazeny v grafu na Obr.10.

Vyhodnocení výsledků ukázalo, že při uvážení postupného zavážení UOS dochází k nárůstu teplot v počátečních časech, avšak v delších časových úsecích vliv vymizí. Nárůst teplot se zvětšuje s rostoucí průměrnou dobou zavážení jednoho UOS a vliv ve stejném smyslu (tj. nárůst teplot) má rovněž zvýšení součinitele tepelné vodivosti HB. Při výpočtech byly použity střední doby zavážení jednoho UOS: 1 den, 1,5 dne, 2 dny, 3 dny, 5 dnů, 7,5 dnů a 10 dnů. Vliv času na nárůst teplot je pro referenční lokalitu zanedbatelný až do doby zavážení 5 dnů/UOS, neboť zvýšení teplot se pohybuje pouze v setinách °C. Od této hodnoty již začíná být patrný a mohl by při době cca 9 dnů/UOS vést k překročení limitní teploty. Tento limitní čas se mírně liší u UOS EDU a UOS ETE.

Pro vyhodnocení vlivu součinitele tepelné vodivosti HB byly provedeny rovněž výpočty se stejným dispozičním řešením úložiště, avšak se součinitelem tepelné vodivosti 3,2 W/mK (tj. např. lokalita Čertovka). Výše uvedené hodnoty se mírně sníží, avšak rovněž v tomto případě by nedošlo k překročení limitní teploty ani při době zavážení cca 7,5 dnů/UOS.



Obr.9 Vliv postupného zavážení UOS na teploty – dlouhý časový interval



Obr. 10 Vliv postupného zavážení UOS na teploty – časový interval 10 let od zavezení

Vzhledem k předpokládané době zavážení max. 2 dny/UOS tedy není zapotřebí se sledovaným faktorem prozatím počítat. Výjimkou by mohla být situace například v případech:

- Dlouhé prodlevy (např. několika let (či spíše desítek let) mezi zavážením posledního UOS EDU či UOS ETE a UOS NJZ. V tomto případě by bylo zapotřebí umístit UOS NJZ do samostatné sekce daleko od již zavezených pozic.
- Dlouhé tunely či vrty u horizontální varianty ukládání s velkým počtem pozic UOS, kdy teplotní pole z vedlejšího tunelu by ovlivnilo aktuálně zavážený tunel (vrt). V návrzích lokalit nebyly takové vlivy řešeny.

Vliv počáteční teploty HB a vliv součinitele tepelné vodivosti HB

Na výsledky optimalizačních výpočtů roztečí UOS a tunelů i na výsledné teplotní pole v HÚ mají rozhodující vliv dva základní parametry (vlastnosti) HB: součinitel tepelné vodivosti a počáteční teplota HB. Oba parametry HB se mohou na jednotlivých lokalitách výrazně lišit a jejich vliv je nezbytné posuzovat společně.

Součinitel tepelné vodivosti udává schopnost materiálu HB odvádět vznikající teplo od UOS a jeho vyšší hodnoty tedy vedou k nižším nárůstům teplot HB. Jde o veličinu, která je v horninách poměrně anizotropní a nehomogenní a může se vyskytovat v poměrně širokém rozsahu hodnot. Současné znalosti součinitele tepelné vodivosti z jednotlivých lokalit dávají prozatím poměrně hrubou informaci, kterou lze sice jednotlivé lokality srovnat, ovšem pro podrobnější analýzy HÚ bude nezbytné tuto veličinu výrazně upřesnit.

Počáteční teplota HB je teplota, ke které se při výpočtu teplotního pole načítá ohřev způsobený tepelným výkonem UOS. Při její nižší hodnotě bude tedy i výsledné teplotní pole v průběhu času nižší. Počáteční teplotní pole v HB bude poměrně homogenní, ovšem

jednotlivé lokality se mohou od sebe výrazně lišit. Protože v době řešení projektu nebyly známy skutečné hodnoty této veličiny z jednotlivých lokalit, byla ve všech výpočtech uvažována teplota podle konzervativního geotermálního gradientu 0,03 K/m (viz [19]). Při jednotné hloubce ukládacího horizontu -500m pod povrchem a střední roční teplotě povrchu 10 °C tomu pak odpovídá poměrně vysoká počáteční teplota HB 25 °C.

Vzhledem k uvedeným faktům byla provedena citlivostní analýza, která má za cíl ukázat společný vliv obou veličin. Byly při ní počítány minimální rozteče UOS při proměnném součiniteli tepelné vodivosti v rozsahu 1,8 W/mK až 3,5 W/mK a proměnné počáteční teplotě 13 °C až 28 °C. Uvedené rozsahy odpovídají předpokládaným podmínkám v HB na území České republiky. Vzhledem k tomu, že při návrhu HÚ byla nakonec použita vždy stejná rozteč tunelů 25 m, byla uvažována pouze tato vzdálenost.

Výsledky výpočtů jsou pro jednotlivé typy UOS a obě varianty ukládání uvedeny v Tab.6 až Tab.11. Rozteč UOS byla při výpočtech sledována v rozsahu 4 m nebo 5 m (horizontální ukládání UOS ETE a NJZ) až 25 m. Větší vzdálenosti nebyly uvažovány, protože 25 m je rovněž rozteč tunelů a šlo by tedy vždy o limitní vzdálenost. Pokud potřebná rozteč UOS vychází více než 25 m, je v tabulkách uvedena značka „x“. Krok v roztečích byl při různých výpočtech podle jejich časové náročnosti uvažován 0,2 m nebo 0,25 m.

Tab.6 Minimální rozteč UOS v metrech pro vertikální ukládání a UOS EDU v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB

Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Počáteční teplota v HB [°C]												
	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	16	13
1,8	x	x	x	x	x	x	x	8,8	8	7,2	6,8	5,8	5
1,9	x	x	x	x	x	9,2	8,2	7,4	6,8	6,2	5,8	5,2	4,6
2,0	x	x	x	10	8,6	7,8	7	6,4	6	5,6	5,2	4,8	4,4
2,1	x	x	9,4	8,2	7,4	6,8	6,2	5,8	5,4	5	4,8	4,6	4,2
2,2	x	9,2	8	7,2	6,6	6	5,6	5,2	4,8	4,6	4,6	4,4	4
2,3	9	7,8	7	6,4	5,8	5,4	5	4,8	4,6	4,6	4,4	4,2	4
2,4	7,8	7	6,2	5,8	5,2	5	4,8	4,6	4,4	4,4	4,2	4	4
2,5	6,8	6,2	5,6	5,2	4,8	4,8	4,6	4,4	4,4	4,2	4,2	4	4
2,6	6,2	5,6	5,2	4,8	4,8	4,6	4,4	4,4	4,2	4	4	4	4
2,7	5,6	5,2	4,8	4,6	4,6	4,4	4,2	4,2	4	4	4	4	4
2,8	5,2	4,8	4,8	4,6	4,4	4,2	4,2	4	4	4	4	4	4
2,9	4,8	4,8	4,6	4,4	4,2	4,2	4	4	4	4	4	4	4
3,0	4,8	4,6	4,4	4,4	4,2	4	4	4	4	4	4	4	4
3,1	4,6	4,4	4,4	4,2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3,2	4,6	4,4	4,2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3,3	4,4	4,2	4,2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3,4	4,2	4,2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3,5	4,2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tab.7 Minimální rozteč UOS v metrech pro vertikální ukládání a UOS ETE v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB

Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Počáteční teplota v HB [°C]												
	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	16	13
1,8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	21,6	13,6	10
1,9	x	x	x	x	x	x	x	x	20	15,2	13	10,6	8,6
2,0	x	x	x	x	x	x	20,2	15,2	13	11,4	10,4	9	7,4
2,1	x	x	x	x	22,8	15,8	13,2	11,6	10,4	9,8	9	7,8	6,6
2,2	x	x	x	17,4	13,8	12	10,8	9,8	9	8,4	7,8	7	6,2
2,3	x	21,4	15,2	12,6	11,2	10	9,2	8,6	8	7,4	7	6,4	6
2,4	18	14	12	10,6	9,8	8,8	8,2	7,6	7,2	6,8	6,4	6,2	5,8
2,5	13,2	11,4	10,2	9,2	8,4	8	7,4	7	6,6	6,4	6,2	6	5,6
2,6	11	9,8	9	8,2	7,6	7,2	6,8	6,4	6,2	6,2	6	5,8	5,4
2,7	9,6	8,8	8	7,6	7	6,6	6,4	6,2	6,2	6	5,8	5,6	5,2
2,8	8,6	8	7,4	6,8	6,6	6,4	6,2	6	6	5,8	5,6	5,4	5,2
2,9	7,8	7,2	6,8	6,4	6,4	6,2	6	6	5,8	5,6	5,6	5,2	5
3,0	7,2	6,8	6,4	6,4	6,2	6	5,8	5,8	5,6	5,4	5,4	5,2	4,8
3,1	6,8	6,6	6,4	6,2	6	5,8	5,8	5,6	5,4	5,4	5,2	5	4,6
3,2	6,6	6,4	6,2	6	5,8	5,8	5,6	5,4	5,4	5,2	5	4,8	4,6
3,3	6,4	6,2	6	5,8	5,8	5,6	5,4	5,4	5,2	5	5	4,8	4,4
3,4	6,2	6	5,8	5,8	5,6	5,4	5,4	5,2	5	5	4,8	4,6	4,4
3,5	6	6	5,8	5,6	5,4	5,4	5,2	5	5	4,8	4,8	4,6	4,2

Tab.8 Minimální rozteč UOS v metrech pro vertikální ukládání a UOS NJZ v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB

Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Počáteční teplota v HB [°C]												
	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	16	13
1,8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1,9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	16,75
2,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	12
2,1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	13,75	10
2,2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	17,25	14	11	8,75
2,3	x	x	x	x	x	x	x	19,25	14,75	12,75	11,25	9,5	7,75
2,4	x	x	x	x	x	x	16,5	13,5	11,75	10,5	9,75	8,25	7
2,5	x	x	x	x	x	15	12,75	11	10	9,25	8,5	7,5	6,25
2,6	x	x	x	18,25	14,25	12	10,75	9,75	9	8,25	7,75	6,75	6
2,7	x	x	17,25	13,5	11,75	10,25	9,5	8,75	8	7,5	7	6,25	5,5
2,8	x	16,5	13,25	11,25	10	9,25	8,5	7,75	7,25	7	6,5	5,75	5,5
2,9	16,5	13	11,25	10	9	8,25	7,75	7,25	6,75	6,5	6	5,5	5,25
3,0	13	11,25	10	9	8,25	7,75	7	6,75	6,25	6	5,75	5,5	5
3,1	11,25	10	9	8,25	7,5	7	6,5	6,25	6	5,75	5,5	5,25	5
3,2	10	9	8,25	7,5	7	6,5	6,25	5,75	5,75	5,5	5,25	5	5
3,3	9	8,25	7,5	7	6,5	6,25	5,75	5,75	5,5	5,25	5,25	5	4,75
3,4	8,25	7,75	7	6,5	6,25	5,75	5,75	5,5	5,25	5,25	5	5	4,75
3,5	7,75	7,25	6,75	6,25	5,75	5,75	5,5	5,25	5,25	5	5	4,75	4,75



Tab.9 Minimální rozteč UOS v metrech pro horizontální ukládání a UOS EDU v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB

Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Počáteční teplota v HB [°C]												
	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	16	13
1,8	x	x	x	x	x	x	x	x	16	12,25	10,25	8,25	6,5
1,9	x	x	x	x	x	x	x	14	11,25	9,5	8,5	7	5,75
2,0	x	x	x	x	x	20	13	10,75	9,25	8,25	7,5	6,25	5,25
2,1	x	x	x	x	18,5	12,5	10,25	9	8	7,25	6,5	5,75	4,75
2,2	x	x	x	18,25	12,5	10	8,75	7,75	7	6,5	6	5,25	4,75
2,3	x	x	19,5	12,5	10	8,75	7,75	7	6,25	5,75	5,5	5	4,5
2,4	x	23,5	13	10,25	8,75	7,75	7	6,25	5,75	5,25	5	4,75	4,25
2,5	x	13,75	10,5	8,75	7,75	7	6,25	5,75	5,25	5	4,75	4,5	4,25
2,6	15,25	11	9	8	7	6,25	5,75	5,25	5	4,75	4,75	4,5	4
2,7	12	9,5	8	7,25	6,5	5,75	5,25	5	4,75	4,75	4,5	4,25	4
2,8	10,25	8,5	7,25	6,5	6	5,5	5	5	4,75	4,5	4,5	4,25	4
2,9	9	7,75	6,75	6	5,5	5	5	4,75	4,5	4,5	4,25	4	4
3,0	8	7	6,25	5,75	5,25	5	4,75	4,5	4,5	4,25	4,25	4	4
3,1	7,5	6,5	5,75	5,25	5	4,75	4,75	4,5	4,25	4,25	4	4	4
3,2	6,75	6	5,5	5	5	4,75	4,5	4,5	4,25	4	4	4	4
3,3	6,25	5,75	5,25	5	4,75	4,5	4,5	4,25	4,25	4	4	4	4
3,4	6	5,25	5	4,75	4,75	4,5	4,25	4,25	4	4	4	4	4
3,5	5,5	5,25	5	4,75	4,5	4,25	4,25	4	4	4	4	4	4

Tab.10 Minimální rozteč UOS v metrech pro horizontální ukládání a UOS ETE v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB

Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Počáteční teplota v HB [°C]												
	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	16	13
1,8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	20
1,9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	13,75
2,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	16,5	11,25
2,1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	29,5	17,75	12,75	9,5
2,2	x	x	x	x	x	x	x	x	20,75	15,75	13,25	10,75	8,5
2,3	x	x	x	x	x	x	x	18,25	14,5	12,5	11,25	9,5	7,75
2,4	x	x	x	x	x	27,75	17	13,75	12	10,75	9,75	8,5	7
2,5	x	x	x	x	24	16,25	13,5	11,75	10,5	9,5	8,75	7,75	6,5
2,6	x	x	x	23	16	13	11,5	10,25	9,25	8,75	8	7	6,25
2,7	x	x	23,25	15,75	13	11,25	10,25	9,25	8,5	8	7,5	6,75	6
2,8	x	25	16	13	11,25	10	9,25	8,5	7,75	7,25	7	6,5	6
2,9	x	16,5	13,25	11,5	10	9,25	8,5	7,75	7,25	6,75	6,5	6,25	5,75
3,0	17,5	13,5	11,5	10,25	9,25	8,5	7,75	7,25	6,75	6,5	6,5	6	5,75
3,1	14,25	11,75	10,5	9,25	8,5	7,75	7,25	6,75	6,5	6,5	6,25	6	5,5
3,2	12,25	10,75	9,5	8,5	7,75	7,25	6,75	6,5	6,5	6,25	6	5,75	5,5
3,3	11	9,75	8,75	8	7,25	7	6,75	6,5	6,25	6	6	5,75	5,25
3,4	10	9	8,25	7,5	7	6,75	6,5	6,25	6,25	6	5,75	5,5	5,25
3,5	9,25	8,25	7,75	7	6,25	6,5	6,25	6,25	6	5,75	5,75	5,5	5



Tab.11 Minimální rozteč UOS v metrech pro horizontální ukládání a UOS NJZ v závislosti na počáteční teplotě HB a součiniteli tepelné vodivosti HB

Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Počáteční teplota v HB [°C]												
	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	16	13
1,8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1,9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2,1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2,2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	17,5
2,3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	13,25
2,4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	18	11,25
2,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	24,75	13,75	10
2,6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	22,5	16	11,75	9
2,7	x	x	x	x	x	x	x	x	21,5	15,75	13	10,25	8,25
2,8	x	x	x	x	x	x	x	21,5	15,5	13	11,25	9,25	7,5
2,9	x	x	x	x	x	x	22,5	15,75	13	11,25	10,25	8,5	7
3,0	x	x	x	x	x	24,75	16	13	11,25	10,25	9,25	8	6,75
3,1	x	x	x	x	x	16,75	13,5	11,5	10,25	9,25	8,5	7,25	6,5
3,2	x	x	x	x	18	14	11,75	10,5	9,25	8,5	8	7	6,25
3,3	x	x	x	20,25	14,75	12,25	10,5	9,5	8,75	8	7,5	6,75	6,25
3,4	x	x	26,25	15,75	12,75	11	9,75	8,75	8	7,5	7	6,5	6
3,5	x	x	17,5	13,5	11,25	10	9	8,25	7,5	7	6,75	6,5	6

Z uvedených výsledků je patrné, že obě dvě sledované veličiny rozteče UOS ovlivňují poměrně významně a jejich vliv je společný a nelineární. Současná neznalost počáteční teploty HB na lokalitách a její uvažování v konzervativní velikosti 25 °C proto vede zejména na lokalitách s průměrným a podprůměrným součinitelem tepelné vodivosti (cca 2,7 W/mK a méně) na příliš velké rozteče nebo k problémům, kdy UOS nelze bez poklesu výkonu (prodloužení doby skladování) uložit vůbec. Malá změna součinitele tepelné vodivosti (způsobená např. heterogenitou HB) může odvod tepla výrazně ovlivnit a rozteče UOS změnit. Výzkumu této vlastnosti bude tedy nezbytné věnovat zvýšenou pozornost.

Vliv výkonu na rozteče UOS

V rámci obecného ocenění tepelného výpočtu a jeho různých parametrů na rozteče UOS byl rovněž sledován vliv tepelného výkonu UOS a součinitele tepelné vodivosti na minimální rozteče pro čtyři možné geometrické konfigurace UOS/bentonit: UOS EDU vertikální a horizontální varianta ukládání a UOS ETE/NJZ vertikální a horizontální varianta ukládání. Motivací k této analýze je skutečnost, že optimalizační výpočty jsou sice prováděny pro sofistikovaně odhadnutý střední výkon UOS (viz kap. 3.1), avšak skutečný výkon UOS může být z různých důvodů odlišný.

Součinitel tepelné vodivosti byl v provedených analýzách měněn v rozsahu 1,8 W/mK až 3,5 W/mK, počáteční teplota v HB byla uvažována 25 °C. Rozteč UOS byla při výpočtech sledována v rozsahu 4 m nebo 5 m (horizontální ukládání UOS ETE a NJZ) až 25 m s krokem 0,2 m nebo 0,25 m. Větší vzdálenosti mezi UOS nebyly uvažovány, protože 25 m je rozteč tunelů a jde tedy vždy o limitní vzdálenost. Pokud potřebná rozteč UOS vychází více než 25 m je výsledek označen „x“ a za uvažovaných podmínek nelze zaručit teplotu



bentonitu pod limitních 95 °C. Výsledky výpočtů jsou pro obě geometrie UOS/bentonit a obě varianty ukládání uvedeny v Tab.12 až Tab.15.

Tab.12 Minimální rozteč UOS v metrech pro geometrii UOS EDU/bentonit a vertikální ukládání v závislosti na výkonu UOS a součiniteli tepelné vodivosti HB

Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Výkon UOS [W]						
	393	524	589,5	655	720,5	786	917
1,8	4	4,2	6,4	x	x	x	x
1,9	4	4	5,6	x	x	x	x
2,0	4	4	5	10	x	x	x
2,1	4	4	4,6	8,2	x	x	x
2,2	4	4	4,4	7,2	x	x	x
2,3	4	4	4,4	6,4	x	x	x
2,4	4	4	4,2	5,8	18,2	x	x
2,5	4	4	4	5,2	12	x	x
2,6	4	4	4	4,8	9,8	x	x
2,7	4	4	4	4,6	8,4	x	x
2,8	4	4	4	4,6	7,4	x	x
2,9	4	4	4	4,4	6,8	x	x
3,0	4	4	4	4,4	6,2	x	x
3,1	4	4	4	4,2	5,8	x	x
3,2	4	4	4	4	4,5	15	x
3,3	4	4	4	4	5	11,6	x
3,4	4	4	4	4	4,8	10	x
3,5	4	4	4	4	4,8	8,8	x

Tab.13 Minimální rozteč UOS v metrech pro geometrii UOS ETE/bentonit a vertikální ukládání v závislosti na výkonu UOS a součiniteli tepelné vodivosti HB


Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Výkon UOS [W]						
	732,6	976,8	1098,9	1125	1221	1343,1	1465,2
1,8	4,8	11,4	x	x	x	x	x
1,9	4,6	9,4	x	x	x	x	x
2,0	4,4	8	x	x	x	x	x
2,1	4,2	7,2	17,2	x	x	x	x
2,2	4	6,4	12,6	17,4	x	x	x
2,3	4	6,2	10,4	12,6	x	x	x
2,4	4	6	9	10,6	x	x	x
2,5	4	5,8	8	9,2	x	x	x
2,6	4	5,6	7,4	8,2	18,25	x	x
2,7	4	5,4	6,8	7,6	13,5	x	x
2,8	4	5,2	6,4	6,8	11,25	x	x
2,9	4	5,2	6,2	6,4	10	x	x
3,0	4	5	6	6,4	9	x	x
3,1	4	4,8	6	6,2	8,25	x	x
3,2	4	4,8	5,8	6	7,5	22,6	x
3,3	4	4,6	5,6	5,8	7	15,4	x
3,4	4	4,4	5,6	5,8	6,5	12,8	x
3,5	4	4,4	5,4	5,6	6,25	11,2	x

Tab.14 Minimální rozteč UOS v metrech pro geometrii UOS EDU/bentonit a horizontální ukládání v závislosti na výkonu UOS a součiniteli tepelné vodivosti HB

Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Výkon UOS [W]						
	393	524	589,5	655	720,5	786	917
1,8	4	4,75	9,25	x	x	x	x
1,9	4	4,5	8	x	x	x	x
2,0	4	4,5	7	x	x	x	x
2,1	4	4,25	6,25	x	x	x	x
2,2	4	4	5,5	18,25	x	x	x
2,3	4	4	5,25	12,5	x	x	x
2,4	4	4	5	10,25	x	x	x
2,5	4	4	4,75	8,75	x	x	x
2,6	4	4	4,5	8	x	x	x
2,7	4	4	4,5	7,25	x	x	x
2,8	4	4	4,25	6,5	x	x	x
2,9	4	4	4,25	6	x	x	x
3,0	4	4	4	5,75	x	x	x
3,1	4	4	4	5,25	21,25	x	x
3,2	4	4	4	5	14,5	x	x
3,3	4	4	4	5	11,75	x	x
3,4	4	4	4	4,75	10,25	x	x
3,5	4	4	4	4,75	9,25	x	x

Tab.15 Minimální rozteč UOS v metrech pro geometrii UOS ETE/bentonit a horizontální ukládání v závislosti na výkonu UOS a součiniteli tepelné vodivosti HB

Souč. tep. vodivosti [W/mK]	Výkon UOS [W]						
	732,6	976,8	1098,9	1125	1221	1343,1	1465,2
1,8	5,5	x	x	x	x	x	x
1,9	5,25	17	x	x	x	x	x
2,0	5	12,75	x	x	x	x	x
2,1	5	10,75	x	x	x	x	x
2,2	5	9,5	x	x	x	x	x
2,3	5	8,5	x	x	x	x	x
2,4	5	7,5	x	x	x	x	x
2,5	5	7	17,75	x	x	x	x
2,6	5	6,5	13,75	23	x	x	x
2,7	5	6,5	11,75	15,75	x	x	x
2,8	5	6,25	10,5	13	x	x	x
2,9	5	6	9,5	11,5	x	x	x
3,0	5	6	8,75	10,25	x	x	x
3,1	5	5,75	8	9,25	x	x	x
3,2	5	5,5	7,5	8,5	x	x	x
3,3	5	5,5	7	8	20,25	x	x
3,4	5	5,25	6,75	7,5	15,75	x	x
3,5	5	5,25	6,5	7	13,5	x	x

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

Výkon UOS podle očekávání výrazně ovlivňuje minimální rozteče UOS. Při relativně vysoké uvažované počáteční teplotě HB (např. na lokalitách ve Švédsku má tato veličina hodnotu do 11 °C – viz Tab.5) je proto problémem ukládat již nadprůměrně výkonné UOS. Vzhledem k nelineárnosti závislosti je v některých případech vhodné nechat výkon VJP poklesnout poměrně malým prodloužením doby skladování.

3.3 Vytvoření a testování modelu ukládání pro referenční úložiště

Termofyzikální vlastnosti masivu referenční lokality byly dohodou stanoveny jako průměrné hodnoty z dodaných termofyzikálních vlastností sedmi v dané době řešených lokalit: Kraví hora, Březový potok, Čertovka, Čihadlo, Horka, Hrádek a Magdaléna. Do průměrování proto nebyly zařazeny nově uvažované lokality Janoch (polygon ETE jih) a Na Skalním (polygon EDU západ), které přibýly k řešení až od 2. čtvrtletí 2017. Výpočty referenční lokality tak byly prováděny s parametry:


- Součinitel tepelné vodivosti: 2,586 W/mK
- Hustota: 2678,78 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita: 761 J/kgK

Optimalizace roztečí mezi UOS a tunely na referenční lokalitě

Výsledky výpočtů pro hloubku úložiště -500 m pod povrchem (tj. počáteční teplota HB 25 °C) a preferované rozteče tunelů 25 m a 35 m jsou souhrnně uvedeny v Tab.16. Vzhledem k vysokému výkonu UOS NJZ v počátečních letech po uložení, větší tloušťce bentonitu při horizontálním ukládání a nízkému součiniteli tepelné vodivosti HB v referenční lokalitě, nelze tuto variantu VJP a ukládání uchládit a i při libovolně velké rozteči mezi UOS by teplota v bentonitu překročila limitní hodnotu.

Dosažené výsledky vedou při uvažovaném počtu UOS k úložišti značných rozměrů, což po návrhu konkrétních řešení pro horizontální i vertikální ukládání přináší potřebu sklonu úložiště a jeho umístění mezi hloubky -500 m a -567 m pod povrchem. Uvedená skutečnost však přináší z důvodu geotermálního gradientu do tepelného výpočtu novou počáteční teplotu 27 °C, kdy v nejnižších oblastech úložiště již nebude možné dodržet limitní teplotu bentonitu u variant UOS NJZ – H i NJZ – V1 a rovněž pro ETE – H. Rozteče UOS u ostatních variant UOS a ukládání se pak zvětšují v nejhorším případě až o 0,5 m, čímž opět narůstá velikost půdorysné plochy.

Z výše uvedených důvodů jsou patrné problémy s umístěním všech UOS do podmínek masivu se součinitelem tepelné vodivosti 2,586 W/mK nebo menším. U reálných lokalit pak k limitujícím parametrům přibude omezená využitelná plocha masivu. Z hlediska tepelného výpočtu a optimalizace je např. možným řešením cílené umístění UOS s nejnižším výkonem (VVER-440) do spodních částí úložiště, střídání různých typů UOS v řadě apod. Vzhledem k některým dalším problémům při návrhu a problematickému střídavému zavážení různými UOS v praxi za provozu, bylo pro referenční lokalitu zvoleno řešení s návrhem posunu doby ukládání od vyvezení z AZ reaktoru u problematických typů UOS a variant ukládání. Výsledkem návrhu je pak varianta úložiště se zmenšenými rozměry, ale včetně návrhu prodloužení doby skladování v tabulce Tab.17.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017


Tab.16 Optimalizované vzdálenosti pro referenční lokalitu pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]
NJZ	Horizontální	> 45	35
		> 45	25
	Vertikální	18	35
		19,5	25
ETE	Horizontální	22	35
		25,5	25
	Vertikální	7,75	35
		8,25	25
EDU	Horizontální	7,75	35
		8	25
	Vertikální	4,6	35
		4,75	25

Z uvedených dat je patrné, že při nevelkém prodloužení doby mezi vyvezením paliva z AZ reaktoru a časem ukládání do úložiště je možné výrazným způsobem snížit rozteče mezi UOS či eliminovat problém s překročením limitní teploty u některých typů ukládání. Vzhledem k tomu, že se snižujícím se součinitelem tepelné vodivosti masivu roste problém s limitní teplotou, jsou stejným způsobem řešeny lokality Horka, Magdaléna a Na Skalním (EDU západ).

Tab.17 Optimalizované vzdálenosti pro referenční lokalitu – optimální doba skladování

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]	Doba od vyvezení z AZ [roky]
NJZ	Horizontální	16	25	73,5
	Vertikální	12	25	67,5
ETE	Horizontální	16	25	71,5
	Vertikální	8,25	25	65
EDU	Horizontální	8	25	65
	Vertikální	4,75	25	65

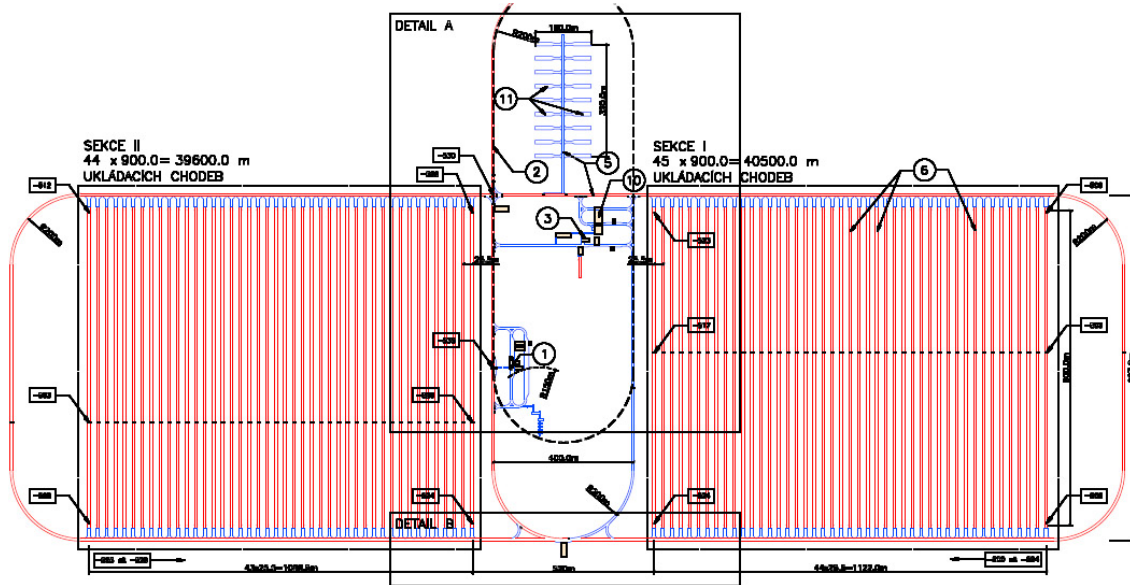
 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

Výpočty dlouhodobých teplotních charakteristik referenční lokality, [21]

Výpočet dlouhodobých teplotních charakteristik na referenční lokalitě byl proveden pomocí stejného analytického matematicko-fyzikálního modelu jako optimalizační výpočty. Dispoziční řešení systému ukládacích prostor je v referenční lokalitě geometricky zjednodušené a výpočty byly proto rovněž zjednodušeně provedeny pouze pro 2 mezní varianty tepelného výkonu, kdy jsou všechny zavážené UOS (tj. celkem 7600 UOS ze všech typů reaktorů) uvažovány s VJP VVER-440 (minimální celkový výkon v úložišti) a s VVER-1000. Celkové zavezení HÚ pouze UOS NJZ nebylo při výpočtu uvažováno. Důvodem jsou výsledky optimalizačních výpočtů, kdy při výkonu UOS NJZ vychází rozteče příliš velké nebo v případě horizontálního ukládání nelze ani dosáhnout požadované limitní teploty. Jako řešení bylo proto navrženo prodloužit dobu skladování VJP dokud neklesne na úroveň UOS ETE (viz Tab.17). Zavezení celého HÚ pouze UOS ETE je tak maximálním celkovým výkonem. Systém ukládacích chodeb je svou celkovou délkou vždy navrhován pro uložení všech typů UOS s patřičnými optimalizovanými roztečemi a se započtením 20% rezervy délky. Počítané varianty tepelného výkonu pak vedou k tomu, že všechny prostory nejsou v tepelných výpočtech zaplněny. Uvažované zaplnění je voleno co nejkompaktněji tak, aby vždy vedlo k nejkonzervativnějším výsledkům, tj. nejvyšším teplotám v HB. Jako reprezentativní výsledky výpočtu jsou uváděny časové průběhy teplot na okraji ukládacích pozic na rozhraní bentonit/HB kde je možno očekávat maxima v celém HÚ. Vždy je jako maximální prezentována teplota v polovině výšky UOS a na spojnici mezi UOS. Počítány byly pro každou variantu jiné význačné body středové (označení „S“) nebo okrajové/rohové (označení „O“). K těmto označením se pak zpravidla přidává označení sekcí přebírané z podkladových výkresů. Umístění počítaných bodů je vždy znázorněno na přiloženém schéma. Varianty jsou při popisu zkráceně označovány: vertikální „V“ a horizontální „H“.

Vertikální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení, viz [21], příloha 01, dispoziční řešení D1, rozděluje úložiště do dvou částí: sekci I se 45 chodbami (vpravo) a sekci II se 44 chodbami (vlevo). Mezi sekcemi je 520 m HB, viz Obr.11. Chodby jsou dlouhé 900 m, což při UOS EDU a roztečí 5,25 m mezi UOS umožňuje uložit v jedné chodbě 170 UOS/chodbu, při UOS ETE a roztečí 8,75 m mezi UOS umožňuje uložit v jedné chodbě 102 UOS/chodbu.



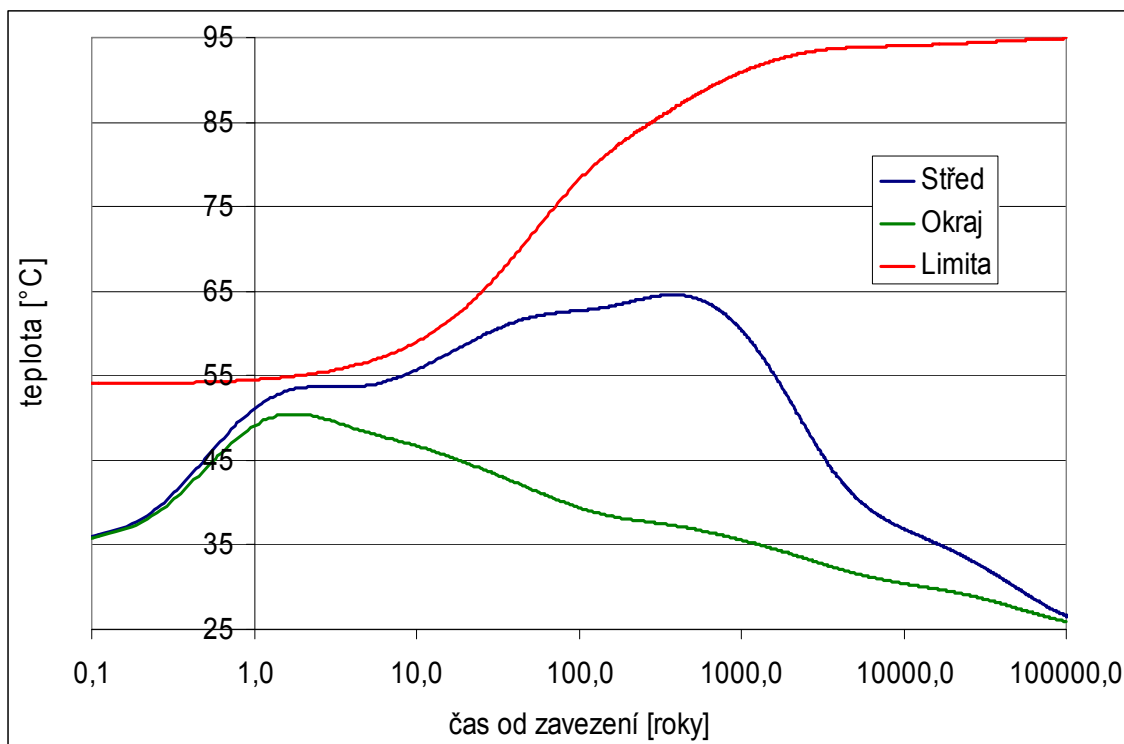
Obr.11 Dispoziční řešení referenční lokality, vertikální uspořádání, ražba TBM, dispoziční řešení D1, [21] příloha 01

A) Výpočet pro zavezení úložiště UOS s VJP VVER-440

Při zavezení úložiště UOS EDU je možné k uložení použít pouze sekci I se zaplněním 44,7 chodby. Sekce II tedy není třeba, čímž vznikne nejkompaktnější uspořádání. Jako reprezentativní byly počítány průběhy teploty na pozici v centru sekce a na rohové pozici. Oba dva průběhy jsou spolu s limitní teplotou uvedeny na Obr.12.

Z grafu na Obr.12 je patrné, že limitní teploty v HB, resp. poté v bentonitu, nebudou v žádném časovém okamžiku a na žádném místě HB překročeny. Maximální teplota HB je dosažena ve středové pozici v čase cca 385 let od zavezení úložiště a má hodnotu cca 65 °C. Rezerva do limitní teploty je v tomto čase již dostatečně vysoká (cca 22 °C). Nejbližše k limitní teplotě se teplota HB na středové pozici dostává v čase cca 2 roky od zavezení HÚ, přičemž teplota je zde v tuto dobu 53,6 °C a rezerva do limitní teploty je 1,5 °C.

Teploty HB na okraji sekce jsou podle očekávání nižší. Maximální teplota v HB zde nastává cca v 1,8 roce po zavezení do HÚ a dosahuje cca 50,5 °C. V tomto čase je teplota na okraji sekce rovněž nejbližše k limitní teplotě, která je v tomto okamžiku 55 °C.

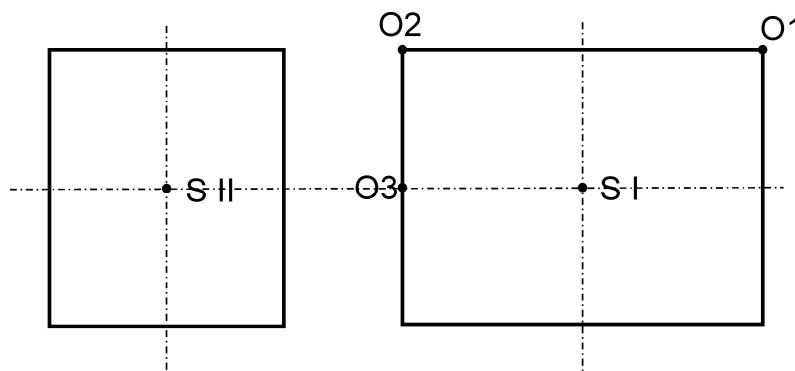


Obr.12 Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM

B) Výpočet referenční lokality pro zavezení úložiště s UOS ETE – vertikální, ražba TBM

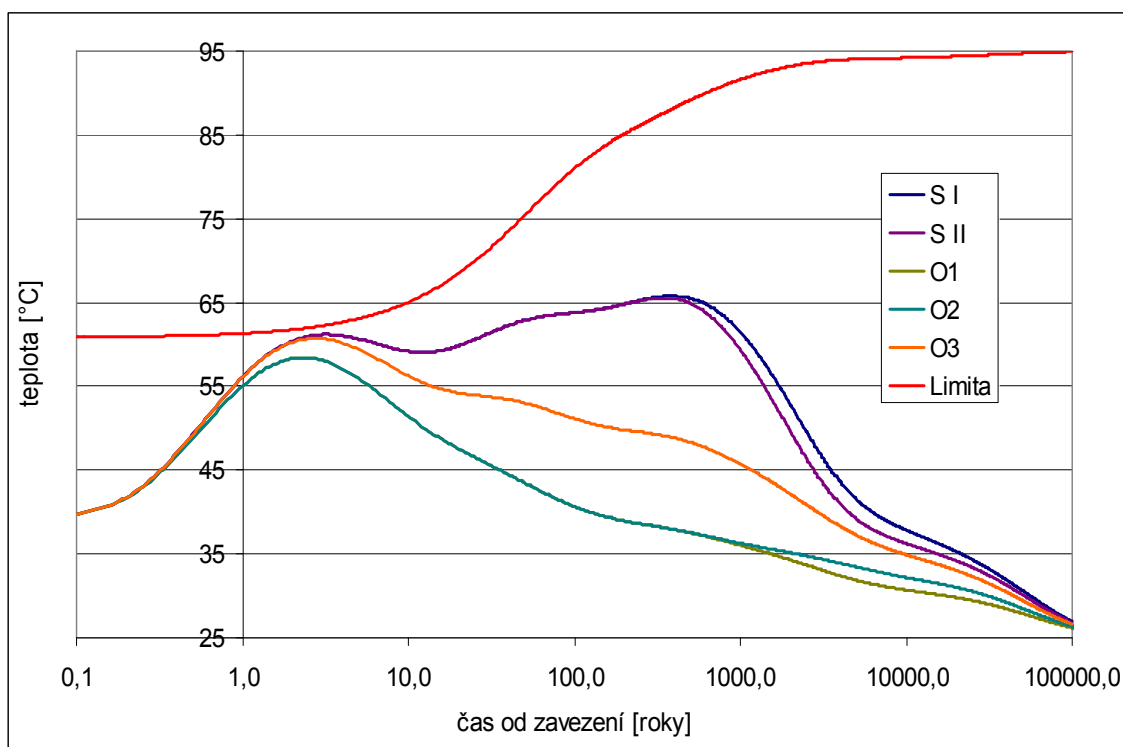
Při zavezení úložiště UOS ETE je nutno zaplnit cca 75 chodeb a je tedy nutno použít obě sekce. Kompaktnější uspořádání vznikne kompletním zavezením sekce I a využitím 30 chodeb v sekci II. Jako reprezentativní byly počítány průběhy teploty na pozicích a se značením podle Obr.13.

Časové průběhy teplot ve vybraných bodech jsou spolu s limitní teplotou uvedeny na Obr.14. Z grafu je patrné, že limitní teploty v HB nebudou na žádném místě a v žádném časovém okamžiku překročeny. Maximální teplota HB je dosažena ve středové pozici S I v čase cca 385 let od zavezení úložiště a má hodnotu 65,8 °C. Rezerva do limitní teploty je v tomto čase již dostatečně vysoká (cca 22 °C). Nejbližší k limitní teplotě se pozice S I dostane v čase 2,7 roku po zavezení HÚ. Teplota je v tomto časovém okamžiku 61,1 °C a rezerva do limitní teploty cca 1 °C. Poté teploty mírně klesají k hodnotě 59,1 °C v 11 roce po zavezení a následně začínají narůstat kvůli vzájemnému ovlivněním obou sekcí. Teploty středové pozice menšího bloku S II se až do času cca 350 let od S I téměř neliší, poté začínají rychleji klesat. Nejvyšší teplota je v tomto místě 65,5 °C.



Obr.13 Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, VVER-1000-vertikální, ražba TBM

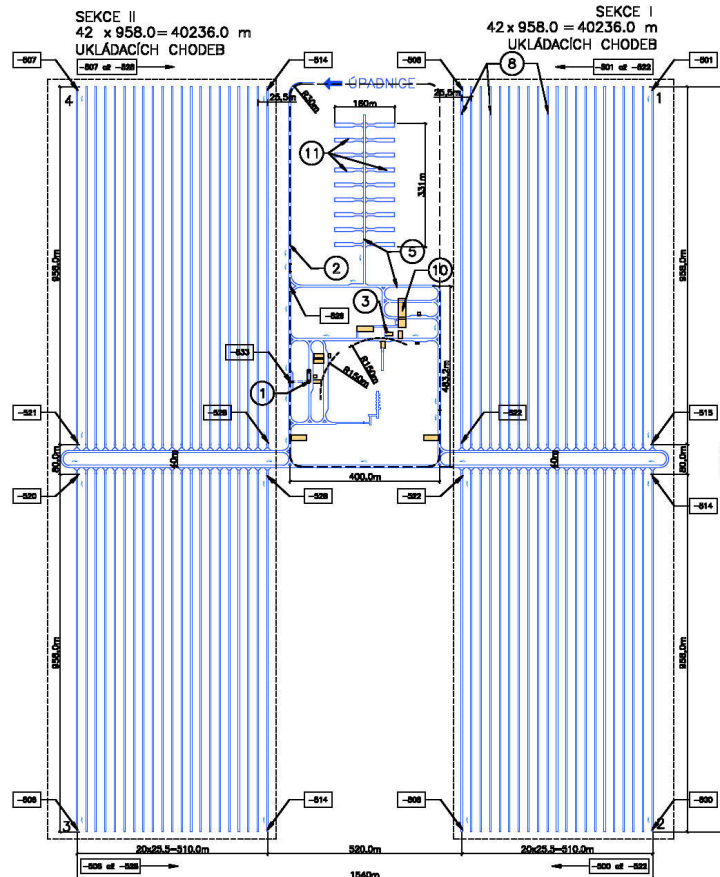
Nejnižší teploty mají rohové pozice, zejména okrajová O1 a O2. Nejvyšší teplota na těchto místech nastává cca 2,3 roku po zavezení HÚ a dosahuje v obou případech 58,4 °C. Je to současně čas, kdy je dosažena nejmenší rezerva do limitní teploty cca 3,4 °C. Teploty v místě O3 se v celém počítaném časovém období nachází mezi výše uvedenými extrémy, což je dáno vzájemným ovlivněním teplotních polí z obou sekcí.



Obr.14 Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM

Vertikální ukládání, konvenční ražba

Navržené dispoziční řešení D2 podle [21] příloha 02 rozděluje referenční úložiště do čtyř bloků ve dvou sekcích I a II, viz Obr.15. Každý blok má 21 chodeb o délce 958 m, mezi sekcemi je 520 m a mezi bloky v každé sekci 80 m. Délky chodeb umožňují uložit v jedné chodbě při UOS EDU a rozteči 5,25 m mezi UOS 181 UOS/chodbu a při UOS ETE a rozteči 8,75 m mezi UOS 109 UOS/chodbu.



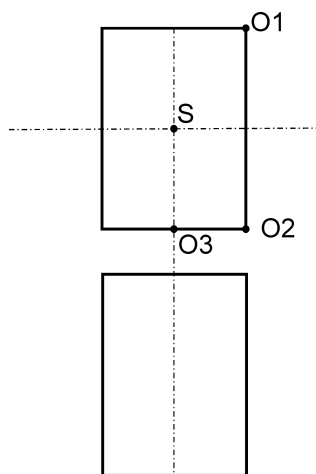
Obr.15 Dispoziční řešení referenční lokality pro vertikální ukládání a konvenční ražbu, dispoziční řešení D2, [21] příloha 02,

A) Výpočet pro zavezení úložiště UOS EDU

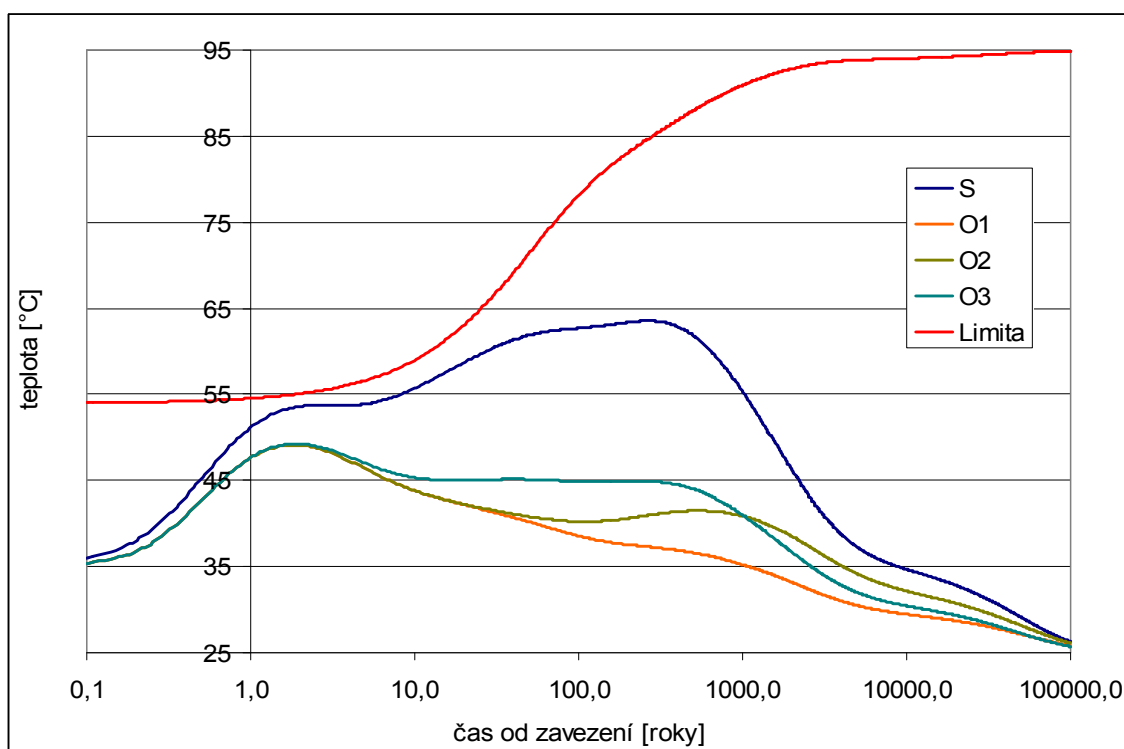
Při zavezení úložiště UOS EDU je k uložení zapotřebí použít cca 42 ukládacích chodeb. Je tedy možné použít např. celou sekci I nebo sekci II nebo vždy jeden blok ze sekce I a sekce II. Jako provozně rozumnější a tedy pravděpodobnější byla zvolena varianta se zaplněním obou bloků v jedné sekci a pro toto uspořádání byly počítány průběhy teplot na pozicích a se značením podle Obr.16.

Výsledné průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou uvedeny na Obr.17. Z grafu je patrné, že limitní teploty v HB nebudou v žádném časovém okamžiku překročeny. Maximální teplota HB je dosažena ve středové pozici S v čase cca 265 let od zavezení úložiště a má hodnotu 63,5 °C. V tento okamžik je rezerva k limitní teplotě již 21 °C. Nejmenší rezerva k limitní teplotě (cca 1,5 °C) nastává na této pozici v době 2 roky po zavezení HÚ, kdy je teplota 53,6 °C.

Pozice na okrajích či rozích sekcí O1, O2 a O3 mají podle očekávání teploty nižší. Maximální teploty jsou zde dosaženy 1,8 let po zavezení HÚ a dosahují hodnoty cca 49,2 °C. Rozdíly mezi jednotlivými body O1, O2 a O3 nepřesahují 0,1 °C. Jde současně o dobu, kdy je zde nejnižší rezerva k limitní teplotě 5,8 °C. Na průběhu teploty v pozici O2 je cca od doby 100 let od zavezení HÚ patrné ovlivnění teploty sousedním blokem, teplota zde mírně roste. Tento trend se pak zastavuje v období cca 530 let při teplotě 41,5 °C.



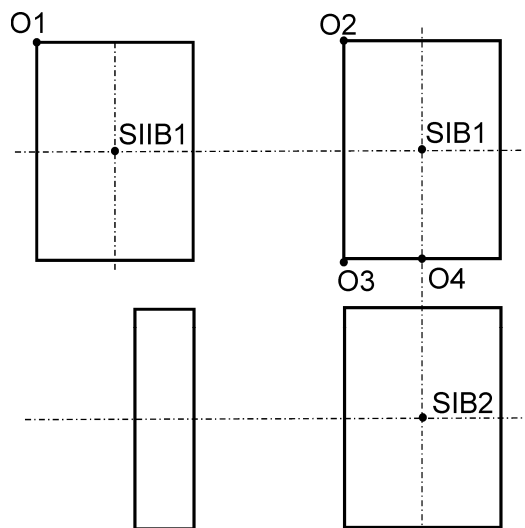
Obr. 16 Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, UOS EDU – vertikální ukládání, ražba konvenční



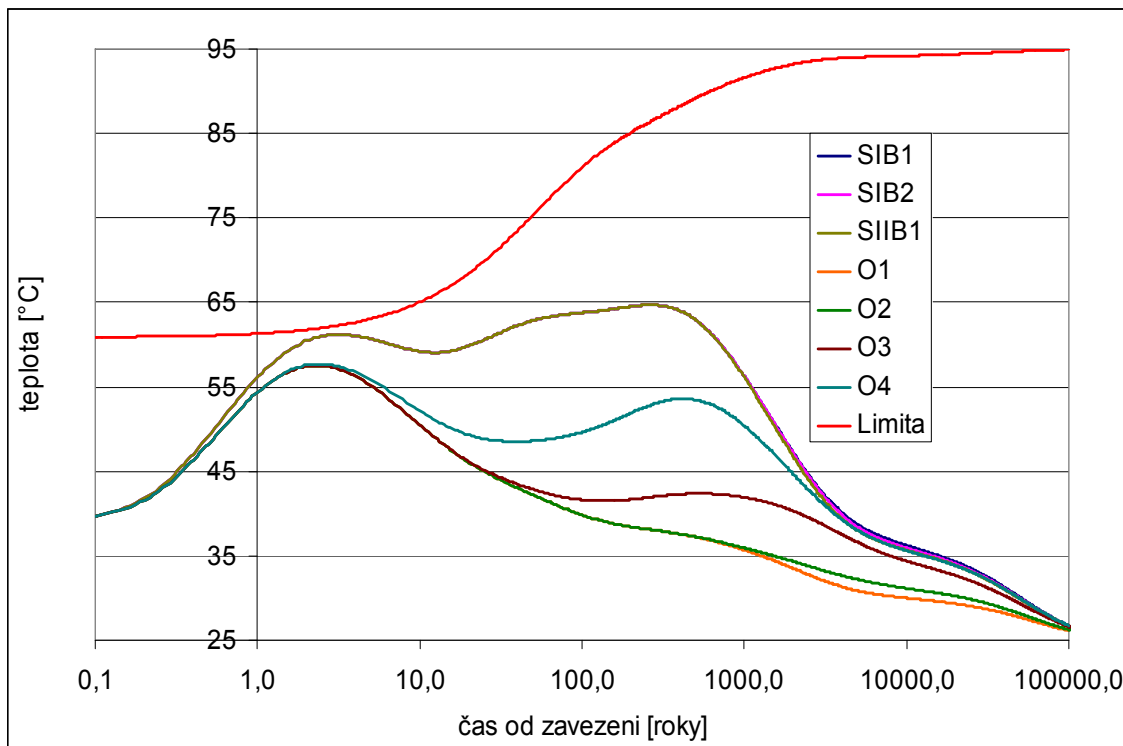
Obr. 17 Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba konvenční

B) Výpočet referenční lokality pro zavezení úložiště s UOS ETE – vertikální ukládání, ražba konvenční

Při zavezení úložiště UOS ETE ve variantě vertikální bude k uložení zapotřebí použít necelých 70 ukládacích chodeb. To vede k zaplnění 3 bloků zcela a čtvrtého částečně (necelých 7 chodeb). Jako kompaktní byla pro výpočet zvolena varianta se zaplněním sekci a bloků podle Obr.18. Na tomto schéma jsou rovněž vyznačeny sledované pozice středové (označeno S, pro jednotlivé sekce I a II a bloky B1 a B2) a okrajové (označení O).



Obr.18 Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, UOS ETE - vertikální ukládání, ražba konvenční



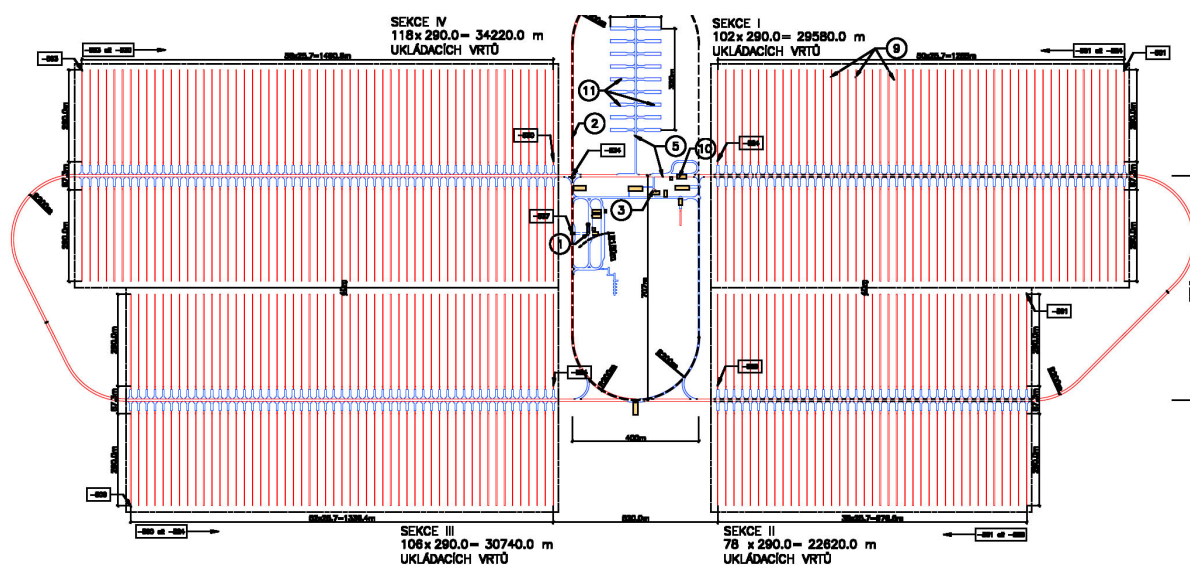
Obr.19 Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba konvenční

Výsledky výpočtu teplotních průběhů jsou na Obr.19. Z průběhu křivek je patrné, že limitní teplota nebude na žádném místě překročena. Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středových pozicích bloků. Tyto teploty mají u všech bloků velmi podobný průběh a křivky až do doby cca 1000 let po zavezení HÚ spolu v grafu splývají. Mírně se začínají odlišovat (v řádu desetin °C) až v časech přesahujících 1000 let, kdy se začíná v teplotním poli projevovat různý příspěvek vzdálenějších sekcí. Maximální teplota HB je dosažena ve středových pozicích v čase cca 265 let od zavezení úložiště a má hodnotu 64,7 °C. Rezerva do limitní teploty je v této době 27,7 °C. Nejmenší rezerva k limitní teplotě na středových pozicích je cca 1 °C a je dosažena 2,6 roku po zavezení HÚ při teplotě HB 61,1 °C.

Teploty na okrajových pozicích dosahují celkově nižších hodnot. Maximální teploty 57,5 °C je dosaženo v čase 2,4 roku po zavezení HÚ, přičemž rozdíly mezi teplotami mezi opozicemi O1 až O4 nepřesahují 0,2 °C. V tuto chvíli je také dosaženo nejmenší rezervy k limitní teplotě HB cca 4,4 °C. Poté se průběhy teplot okrajových bodů začínají od sebe výrazněji lišit kvůli ovlivnění ostatními zavezenými bloky. Teploty v rohových bodech O1 a O2 již jen klesají, teplota v rohovém bodě O3, který je relativně blízko k sekci I a druhému zavezenému bloku, vykazuje v období 130 - 520 let ještě mírný nárůst. Vyšší teploty má pozice O4, která je silně ovlivněna sekci I blokem 2 a teploty zde v době od 40 do 430 let rostou výrazněji ze 48,5 °C na druhé maximum 53,6 °C.

Horizontální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení D3 podle [21] příloha 03 rozděluje úložiště do čtyř sekcí I až IV, viz Obr.20. Mezi pravými a levými sekcemi je 520 m, mezi sekcemi I a II resp. III a IV je 40 m. Z pohledu tepelného výpočtu je poté zapotřebí jednotlivé sekce ještě rozdělit na bloky oddělené vzdáleností 87,3 m s obslužnými chodbami a ústím vrtu (viz popisy jednotlivých variant dále).

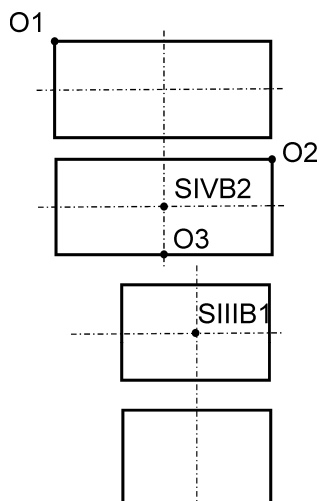


Obr.20 Dispoziční řešení D3 referenční lokality pro horizontální ukládání a ražbu TBM, [21] příloha 03

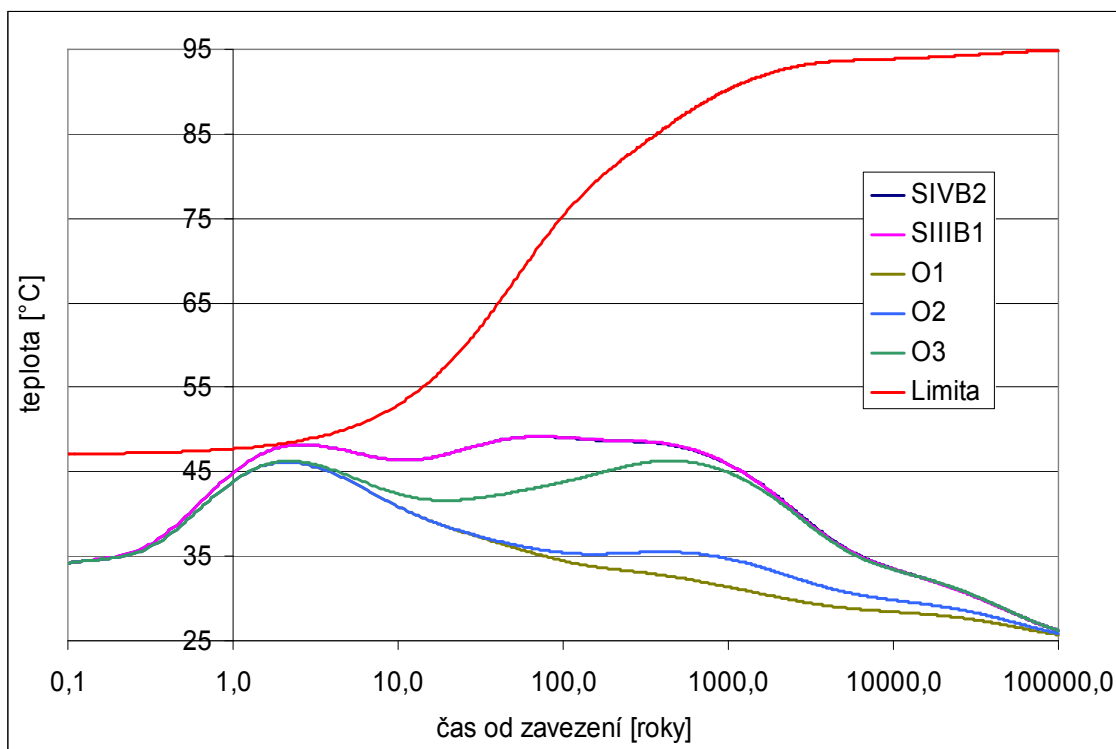
Ukládací vrtů jsou dlouhé 290 m, což při UOS EDU a rozteči 8 m mezi UOS umožňuje uložit v jednom vrtu 36 UOS/vrt, při UOS ETE a rozteči 16 m mezi UOS umožňuje uložit v jednom vrtu 18 UOS/vrt. Jednotlivé vrtů jsou od sebe ve vzdálenosti 25,7 m.

A) Výpočet pro zavezení úložiště UOS EDU

Při potřebě zavést do úložiště 7600 UOS a kapacitě vrtu 36 UOS/vrt je zapotřebí cca 212 vrtů (konzervativně zaokrouhleno nahoru). Aby konfigurace byla co nejvíce kompaktní, byl zvolen výpočet se zaplněním sekce IV zcela a sekce III částečně, kdy je v každém bloku 47 vrtů, poslední je zaplněný částečně. Byla tedy modelována geometrická konfigurace s reprezentativními pozicemi podle Obr.21.



Obr.21 Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, UOS EDU - horizontální ukládání, ražba TBM



Obr.22 Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM

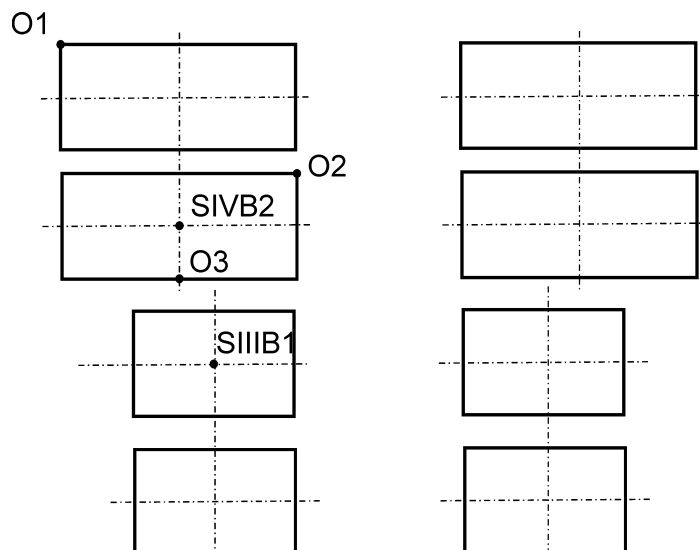
Jak je patrné z výsledků zobrazených v grafu na Obr.22, nebude limitní teplota na žádném místě HÚ překročena. Nejvyšší teploty jsou opět dosahovány na středových pozicích bloků SIVB2 a SIIIB1, přičemž průběhy teplot jsou navzájem téměř stejné (křivky na Obr.22 splývají) a odchylky mezi nimi nepřesahují 0,2 °C. Z výsledků tedy vyplývá, že ani rozdíl 12 vrtů mezi oběma bloky, tj. nárůst velikosti výkonu bloku 2 sekce IV cca 1/4 oproti bloku 1 sekce III nemá na maximální teploty ve středu bloku velký vliv. Maximální teploty 49,2 °C je na těchto pozicích dosaženo v čase 72 let od zavezení HÚ s rezervou do limity 22,6 °C. Nejmenší rezerva do limity 0,4 °C nastává u středových pozic v čase 2,1 roku po zavezení (viz dotyk křivek v grafu na Obr.22). První maximum teplot 48,2 °C, po kterém pak následuje mírný pokles, nastává v době 2,7 roku po zavezení HÚ.

Podle očekávání jsou nejnižší teploty v rohových pozicích na vnějších krajích HÚ (viz pozice O1) o trochu vyšší pak v rozích bloků otočených k sousedním blokům (pozice O2). Maximální teploty zde dosahují v čase 2,1 let od zavezení hodnot cca 46,2 °C a rezerva k limitní teplotě je pak 2,2 °C. Od této chvíle teploty v těchto pozicích již pouze klesají. Nejnižší rezerva k limitní teplotě je v 1,8 roce od zavezení a činí cca 2,1 °C.

Relativně vysoké teploty jsou po dlouhou dobu na pozici O3, což je dáno blízkostí 40 m bloku 1 sekce III (viz pozice O3 na Obr.21). Křivka zde má dvě maxima. První v čase 2,1 let (viz komentář k pozicím O2 a O3 výše), druhé v čase 440 let s teplotou 46,3 °C. Vzhledem k vysoké limitní teplotě v tomto čase je však rezerva téměř 40 °C.

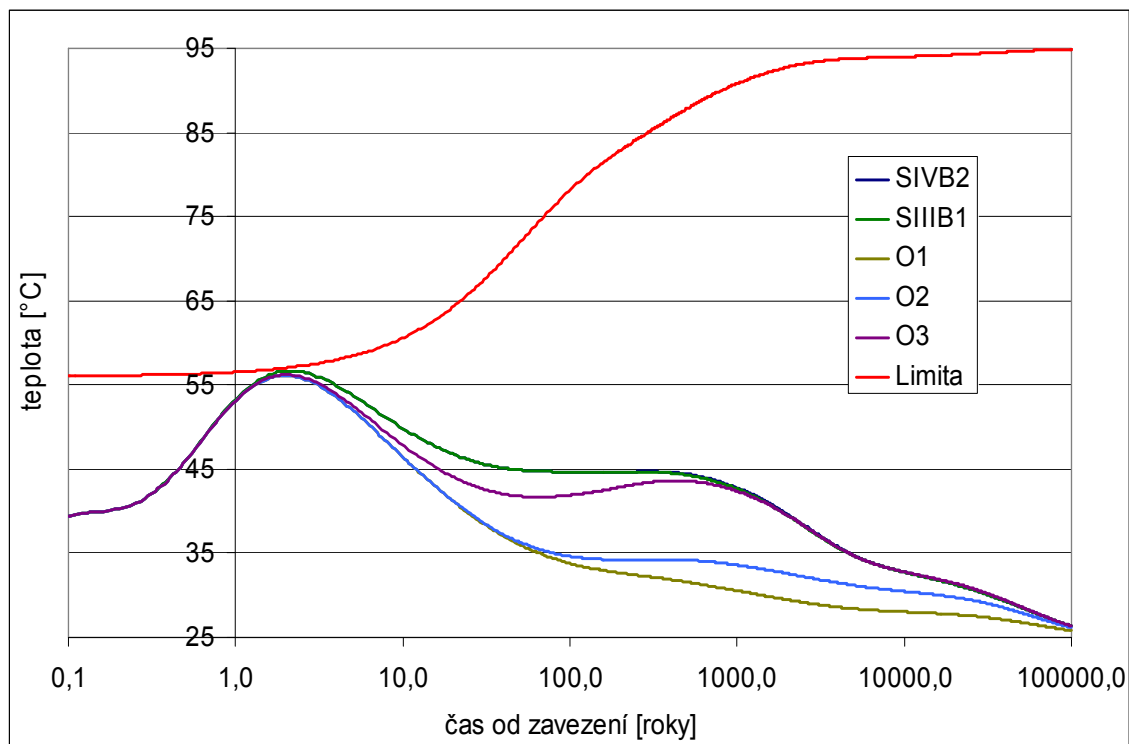
B) Výpočet pro zavezení úložiště UOS ETE

Při potřebě zavést do úložiště 7600 UOS ETE, kdy je kapacita vrtu 18 UOS/vrt o délce 290 m, je zapotřebí použít cca 423 vrtů (konzervativně zaokrouhлено nahoru). To je o 22 více, než je plánovaná kapacita ukládacích prostor podle výkresové dokumentace. Tyto vrty byly proto pro tepelný výpočet přidány rovnoměrně na vnější stranu všech bloků sekce I a sekce II. Při tepelném výpočtu byla pak počítána geometrická konfigurace bloků s vybranými reprezentativními pozicemi podle Obr.23.



Obr.23 Geometrie tepelného výpočtu referenční lokality, VVER-1000 - horizontální ukládání, ražba TBM

Časové průběhy teplot ve sledovaných charakteristických pozicích jsou spolu s limitní teplotou pro UOS ETE vykresleny v grafu na Obr.24. Je patrné, že maximální teploty v HB nedosáhnou ani v této variantě ukládání nikdy limitní teploty. Nejvyšší teploty je možno opět pozorovat u obou středových sledovaných pozic (SIVB2 a SIIIB1). Maximální teplota v tomto případě dosahuje cca 56,7 °C a nastává v čase asi 2,2 let od zavezení, což je cca 0,3 roku po nejmenším rozdílu 0,4 °C mezi teplotou pozice a limitní teplotou HB. Jak je patrné z grafu, oba dva průběhy (SIVB2 a SIIIB1) navzájem téměř splývají a rozdíly mezi teplotami nepřesahují hodnotu 0,15 °C (v časech největších rozdílů cca 950 až 2500 let). Vzhledem k rozdílu počtu UOS mezi oběma sekcemi je tedy patrné, že zavezení cca o 12 % většího výkonu v sekci IV bloku 2 nemá na průběh teploty ve středové pozici větší vliv.




Obr.24 Průběhy teplot vybraných bodů referenční lokality pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM

Podle očekávání jsou nejnižší teploty v rohových pozicích na vnějších krajích HÚ, viz pozice O1, nebo v rozích bloků otočených k sousedním blokům (např. pozice O2). Maximální teploty zde mají téměř stejnou hodnotu 56,1 °C a jsou dosaženy ve 2 letech po zavezení HÚ. Současně jde o okamžik, kdy je nejnižší rezerva 0,4 °C vzhledem k limitní teplotě. Vývoj teplot v obou pozicích se navzájem začíná více odlišovat cca 50 let po zavezení, kdy teploty na vnějším okraji HÚ začínají klesat více a pozici O2 začíná ovlivňovat teplotní pole ze sekce IV bloku 1.

Maximální teplota na pozici O3 a čas jejího dosažení odpovídá ostatním pozicím okrajovým pozicím. Její následný pokles je však menší kvůli přítomnosti okolních UOS ze stejného bloku a následný nárůst teploty mezi lety cca 65 let až 425 let od zavezení HÚ je dán teplotním polem šířícím se z blízkého (40 m) bloku 1 sekce III.

Horizontální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení pro tepelný výpočet této varianty úložiště se téměř shoduje s návrhem řešeným pomocí ražby TBM. Jediným rozdílem mezi oběma variantami je rozteč mezi dvěma bloky v sekcích, která se při konvenční ražbě snižuje o 1,3 m (z 87,3 m na 86 m). Vzhledem k dříve pozorovaným vlivům rozměrů bloků a jejich vzdáleností na teploty v úložišti lze tuto změnu zanedbat. Sledované průběhy teplot lze proto této variantě úložiště považovat za stejné jako v případě ražby metodou TBM (viz předchozí dva odstavce), neboť se neliší nikdy více než o několik desetin °C.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

3.4 Výpočty s podrobným modelem

Vzhledem ke zvolené metodice řešení, účelu výpočtů (obecnému vzájemnému srovnání devíti lokalit pro umístění HÚ) a současnému stupni vývoje HÚ v ČR nebyly vytvářeny podobnější numerické modely jednotlivých lokalit. Tyto přesné, avšak poměrně náročné, výpočty bude vhodné provést až ve chvíli, kdy bude dostatečně známa většina dat potřebných k tvorbě modelu, tj. např. podrobné informace o HB vybraných lokalit a jeho vlastnostech i jeho okolí, o konstrukci UOS, bentonitové výplně atd.

Numerické výpočty prováděné v rámci tohoto dokumentu se proto omezily zejména na podporu analytického modelu v oblasti zjištění vztažné délky pro generovaný tepelný výkon UOS a faktor nevyrovnání po délce UOS. Všechny numerické výpočty byly provedeny pomocí komerčního výpočetního kódu COSMOS/M (viz např. [30]), který je založen na metodě konečných prvků a na KJR-FJFI je již dlouhodobě používán.

Kvůli rozdílné geometrii a studiu různých jevů byly vytvořeny dva modely s obdobným popisem UOS, viz též Obr.25:

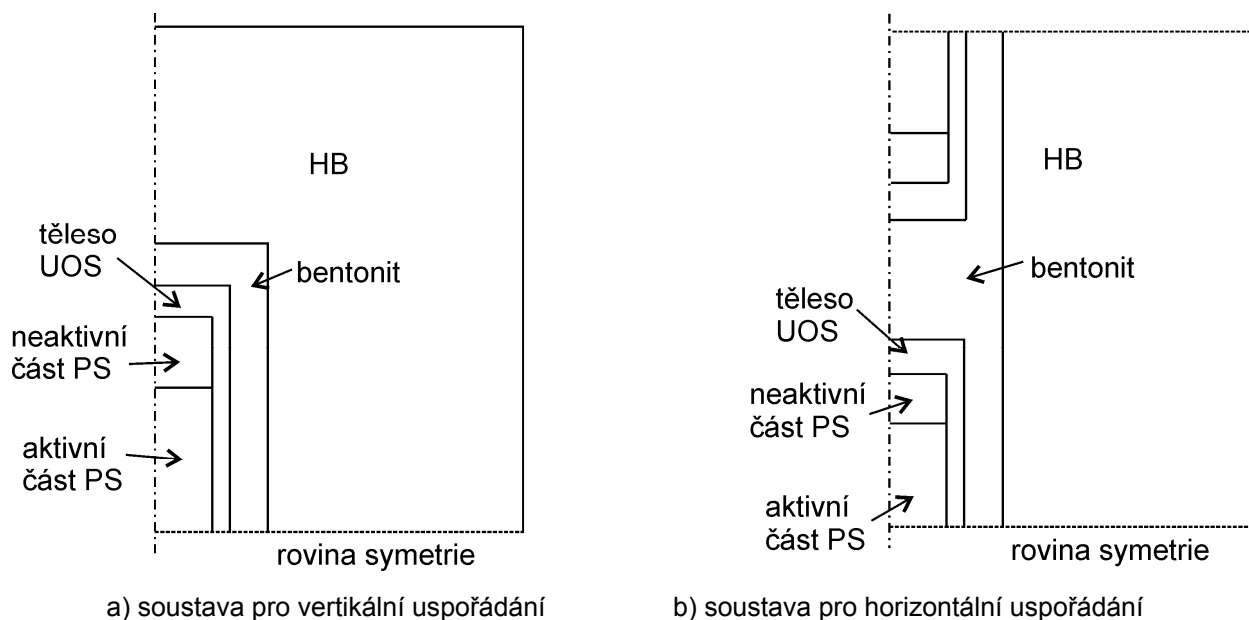
- soustava UOS EDU-bentonit-HB s rozměry bentonitu pro vertikální uspořádání: 2D model v cylindrické geometrii využívající osovou symetrii i symetrii po výšce (modelována pouze polovina soustavy). HB byl modelován do poloměru 15 m a výšky 15 m.
- soustava UOS ETE-bentonit-HB s rozměry bentonitu pro horizontální ukládání: 2D model v cylindrické geometrii využívající osovou symetrii a obsahující 2 UOS s roztečí středů 15 m a bentonitovou zátkou mezi nimi. Předpoklad symetrie vedl k modelu pouze poloviny UOS). HB byl modelován do poloměru 15 m.

UOS byl v obou případech geometricky i materiálově modelován podle podkladů z [19]. Oproti uvedenému zdroji byla zvolena značná zjednodušení a model UOS tak obsahuje pouze tři části: plášť UOS z nerezové oceli, náhradní homogenní materiál s generovaným výkonem a zjednodušenými termofyzikálními vlastnostmi (modeluje aktivní část PS) a náhradní materiál bez výkonu a zjednodušenými termofyzikálními vlastnostmi (modeluje neaktivní část PS). Uvedené zjednodušení vyplývá z předpokládané geometrie (např. vnitřní koš v UOS tvoří hmotnostně či objemově oproti plášti UOS nebo aktivní část PS zanedbatelnou část) a umožňuje jej účel výpočtu, kdy není cílem řešit přesné teplotní pole v UOS, ale spíše popsat distribuci tepla z aktivní části PS do okolního bentonitu a následně HB. Přesnější výpočet UOS přesahuje svou náročností (časovou i výpočetní) potřeby práce a vyžadoval by výrazně podrobnější definici UOS než udává [19]. Zvolená zjednodušení jsou volena konzervativním směrem a vedou proto k horší distribuci tepla do okolí UOS (např. zanedbání vnitřního koše v UOS, zanedbání plynové mezery mezi vnitřním košem a pláštěm atd.).

Termofyzikální vlastnosti byly převzaty z [19] a kap. 2.3. Pro uvažované náhradní homogenní materiály byly termofyzikální vlastnosti většinou zjištěny a zadávány zjednodušeně např. na základě objemových (součinitel tepelné vodivosti) nebo hmotnostních podílů jednotlivých materiálů (tepelná kapacita), konzervativně není uvažována konvekce v plynu (hraje malou roli) ani radiace (hraje důležitou roli). Výpočet byl prováděn s časově závislým tepelným výkonem pouze pro období 20 let od zavezení.

Vzhledem ke stupni vývoje HÚ v ČR a účelu použití výsledků neobsahuje vytvořený model ani podrobnější specifiky rozhraní UOS/bentonit ani rozhraní bentonit/HB (např. vzduchové

mezery), což vede rovněž k horší distribuci tepla do okolí a tedy ke zvýšení konzervativnosti sledovaných výsledků. Vzduchové mezery, které by zde byly modelovány, by sice snížily vypočtené teploty v UOS, ale rovněž by lépe (tj. nekonzervativně) popsaly odvod tepla do HB.



Obr.25 Model pro numerický výpočet soustavy UOS-bentonit-HB

Z výše uvedeného popisu je patrné, že provedené numerické analýzy jsou pouze pomocné a nelze je považovat za dostatečně přesné např. pro konečný návrh HÚ, nebo přesné řešení jeho dílčích částí (např. vnitřku UOS).

Z výsledků analýz na soustavě pro vertikální vyplývá poměrně silná závislost určení limitní teploty $t_{m,HB}$ na referenční délce UOS, uvažování 2D vedení tepla rovněž přes podstavy UOS pak hraje menší roli. Jako optimální a dostatečně konzervativní pro výpočty se jeví použít jako vztažnou délku pro generovaný výkon délku celého PS (aktivní část PS + neaktivní část) a faktor nevyrovnání po délce UOS postačí jako 1,025, viz popis v kap. 3.1. Při uvedených parametrech bývá v době nejmenší rezervy do limitu (tj. 1-3 roky od zavezení UOS do HÚ) $t_{m,HB}$ určená podle 1D modelu cca o 6 °C vyšší než při 2D výpočtu, což je možno považovat za dostatečnou bezpečnostní rezervu.

Analýzy prováděné na soustavě pro horizontální uspořádání prokázaly, že maximální teplota v bentonitu je opět v polovině výšky na rozhraní UOS-bentonit. Toto tvrzení platí vždy v období od 1 roku od zavezení UOS do HÚ, tj. v časech maximálních teplot. Při výpočtech se rovněž ukazuje, že v krátkém intervalu po zavezení do 1 roku může po určitý čas (v závislosti na výkonu UOS) být vyšší teplota na rozhraní UOS-bentonit u podstavy v ose mezi UOS. Maximální rozdíl v této teplotě nebyl v provedených výpočtech nikdy větší než 1°C, což při uvažování míry konzervativnosti (viz výše) a faktu, že v těchto krátkých obdobích nedosahují teploty limitních, dává dostatečnou bezpečnostní rezervu.

3.5 Analýza výsledků

a) Optimalizační výpočty

Kritická pro překročení limitní teploty je doba v řádu jednotek let po zavezení UOS do úložiště, nejčastěji jde o doby 1,8 - 3 roky. V této době je tepelný výkon UOS ještě poměrně velký a rozdíl teplot na soustavě UOS/bentonit/HB (mezi limitní teplotou vnitřního povrchu bentonitu 95 °C a teplotou HB na okraji vrtu), který je potřebný pro odvedení tohoto výkonu, vede na nízké limitní teploty HB. Blíže viz určení limitní teploty v kap. 3.1. V období řádu let po zavezení UOS do HÚ se však již rovněž začíná projevovat zvyšování teploty vlivem okolních UOS. Uvedená skutečnost vede k několika zjednodušujícím předpokladům optimalizačních výpočtů:


1) Není třeba počítat dlouhé časové úseky jako při celkovém teplotním výpočtu úložiště (v praxi je počítáno dle výkonu různých typů UOS maximálně 300 let od zavezení UOS do úložiště), což zkracuje dobu výpočtu a zjednodušuje rovněž model, kdy není uvažován vliv zemského povrchu.

2) Díky nízkému vlivu vzdálených UOS má na optimalizaci roztečí rovněž malý vliv konkrétní konfigurace úložiště (počet UOS v tunelu x počet tunelů). Výsledky provedených optimalizačních výpočtů jsou proto univerzální a lze je bez větších korekcí použít pro libovolný tvar úložiště. I přes tuto vlastnost byly pro kontrolu a odhalení případných chyb v zadávání či vyhodnocování provedeny vždy nejméně tři výpočty s různými konfiguracemi pro jednu variantu UOS a typ ukládání.

3) Vliv roztečí tunelů na rozteče mezi UOS je poměrně malý. Tj. např. zvětšení rozteče mezi tunely z 25 m na 35 m se projeví na snížení roztečí mezi UOS velmi málo. Obdobně v případech navrhovaného prodloužení skladování VJP (např. lokality Magdaléna, Horka, Dukovany) bývá rozdíl v době prodloužení skladování při změně roztečí tunelů malý. Je to dáno tím, že při růstu teploty v krátkých časových intervalech do 3 let po zavezení UOS se projeví pouze okolní UOS v nejkratší vzdálenost v řádech metrů, zatímco vzdálenosti mezi tunely (25 m nebo 35 m) se při interakci teplotních polí projevují až výrazně později. Z uvedeného důvodu je při návrhu HÚ zpravidla výhodnější zvolit menší vzdálenost mezi tunely na úkor mírně větších roztečí UOS nebo zvolit mírné prodloužení skladování VJP.

b) Výpočty dlouhodobých teplotních průběhů vybraných bodů úložiště

Při výpočtech dlouhodobých teplotních průběhů na referenční lokalitě bylo prokázáno, že v počátečních časových obdobích, kdy se teploty dostávají nejbližší k limitní teplotě, má na průběh teplot vliv zejména nejbližší okolí sledované pozice. K tepelnému ovlivňování mezi vzdálenějšími sekcemi (desítky metrů) dochází až nejdříve v desítkách let po zavezení úložiště a při větších vzdálenostech mezi sekcemi (stovky metrů) až po stovkách let. Na nejvyšší teploty v centrálních pozicích sekcí má poměrně malý vliv konkrétní velikost sekce a i při značných rozdílech v celkovém zavezeném tepelném výkonu do sekce se teploty v jejím centru liší pouze málo. Nejnižší teploty jsou vždy na rohových pozicích sekce odvrácených od ostatních.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

4 Výpočet teplotního vývoje úložiště podle návrhu podzemního areálu dle studie umístitelnosti

4.1 Analýza dat o jednotlivých lokalitách – možné varianty podzemí, tepelná data o horninách, vstupní data pro výpočtový model

Termofyzikální vlastnosti HB základních reálných počítaných lokalit jsou převzaty z dodaných podkladů a jsou sumarizovány v Tab.18. Dodány byly hodnoty součinitele tepelné vodivosti, součinitele teplotní vodivosti, objemové tepelné kapacity a měrné tepelné kapacity. Hustota je dopočítána z objemové tepelné kapacity a měrné tepelné kapacity. Výpočet probíhal na základě součinitele tepelné vodivosti, měrné tepelné kapacity a hustoty.

Tab.18 Termofyzikální vlastnosti HB na lokalitách pro HÚ


	Součinitel tepelné vodivosti [W/mK]	Součinitel teplotní vodivosti $\times 10^6$ [m ² /s]	Objemová tepelná kapacita [J/m ³ K]	Měrná tepelná kapacita [J/kgK]	Hustota [kg/m ³]
Březový potok	2,7	1,3	2088461	780	2677,514
Horka	2,1	1	2089861	750	2786,481
Kraví hora	2,7	1,3	2120192	793	2673,634
Čihadlo	2,8	1,5	1829167	714	2561,859
Čertovka	3,2	1,5	2111111	800	2638,889
Hrádek	2,8	1,5	1915251	724	2645,374
Magdaléna	1,8	0,9	2120060	766	2767,702
Referenční lokalita	2,586	1,286	2039158	761	2678,779
Na Skalním (EDU)*	2,04 / 2,053	0,97 / 0,988	2 116 790 / 2 064 560	788	2620
Janoch (ETE)*	2,667 / 2,65	1,299 / 1,3074	2 040 000	-	-

* uvedeny dvě hodnoty (viz text) ve smyslu: dodaná data / dopočítaná data, tučně jsou zvýrazněny při výpočtu použité hodnoty

V dodaných údajích lokalit Na Skalním (polygon EDU západ) a Janoch (polygon ETE jih) byly nalezeny některé disproporce mezi jednotlivými veličinami. Vzhledem ke způsobu a vyhodnocování měření a citlivosti tepelných výpočtů především na součinitel tepelné vodivosti HB byla po dohodě se zadavatelem použita tučně zvýrazněná data v Tab.18. Protože ve výpočetních vztazích hraje roli součin hustoty a měrné tepelné kapacity, tj. objemová tepelná kapacita, byly použity tučně zvýrazněné hodnoty této veličiny z Tab.18.

Pro některé typy výpočtů, určení vhodného umístění a limitaci rozměrů úložiště je nezbytné též použít znalosti rozměrů a půdorysné plochy HB v podzemí. Souhrnně jsou tyto vlastnosti sumarizovány v Tab.19.

Referenční lokalita nemá konkrétní rozměry a lze ji považovat za nekonečnou.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

Tab.19 Základní půdorysné rozměry HB na základních lokalitách

Lokalita	Plocha homogenního bloku [m ²]			
	Plocha A	Plocha B	Plocha C	PLOCHY CELKEM
Kraví hora	1 898 000	2 582 000		4 480 000
Horka	2 313 000	2 068 000		4 381 000
Hrádek	4 972 000	1 223 000		6 195 000
Březový potok	6 570 000	1 423 000		7 993 000
Čihadlo	2 615 000	3 560 000		6 175 000
Čertovka	3 587 000			3 587 000
Magdaléna	4 168 000			4 168 000
Na Skalním (EDU)	4 165 000	2 875 000	3 100 000	10 140 000
Janoch (ETE)	4 669 000	-	-	4 669 000


4.2 Vytvoření analytického modelu pro určení roztečí pro jednotlivé lokality

Analytický matematicko-fyzikální model zůstává v základu pro všechny lokality neměnný a odpovídá popisu uvedenému v kap.3. Na jednotlivých lokalitách jsou modifikovány pouze termofyzikální parametry HB a na lokalitách s horšími termofyzikálními vlastnostmi (Horka, Magdaléna, Na Skalním), kde rozteče pro určité typy ukládání nevycházejí vůbec, nebo jsou pro praktické řešení úložiště příliš velké, je v návrhu postupováno podle metodiky popsané v kap. 4.2.3 - Horka.

4.2.1 Lokalita č. 1 – Kraví hora

Součinitel tepelné vodivosti v lokalitě Kraví hora je ve srovnání s referenční lokalitou lehce nadprůměrný. Lokalita Kraví hora byla jako nejvíce známá počítána první i s variantou dvojitého vertikálního ukládání. Výsledky výpočtů jsou pro sjednocení a srovnání s ostatními lokalitami uvedeny pouze pro preferované rozteče tunelů 25 m a 35 m v Tab.20.

Vzhledem k vysokému výkonu UOS NJZ v počátečních letech po uložení a větší tloušťce bentonitu při horizontálním ukládání dochází při zvolené metodice výpočtu a době skladování 65 let k překročení limitní teploty i při velké rozteči UOS. Uložení UOS v této variantě tedy není rozumné. Možným řešením je delší doba skladování paliva z NJZ, přičemž takové prodloužení je možné dále optimalizovat podle různých kritérií (viz např. řešení na lokalitě Horka popsané v kap. 4.2.3). Vzhledem k tomu, že stanovení nejlepšího kritéria není jednoznačné a mohlo by být jiné na každé lokalitě či způsobu ukládání, je dále zjednodušeně doporučováno sjednocení tepelného výkonu UOS NJZ na úroveň počátečního výkonu UOS ETE, čemuž odpovídá doba skladování cca 71,5 let (viz graf na Obr.5).

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

Tab.20 Vypočítané rozteče v lokalitě Kraví hora pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]
NJZ	Horizontální	> 45	35
		> 45	25
	Vertikální	13	35
		14	25
ETE	Horizontální	14,5	35
		16	25
	Vertikální	7	35
		7,5	25
EDU	Horizontální	6,8	35
		7,5	25
	Vertikální	5	35
		5	25

U vertikální varianty UOS EDU rozteče mohou vyjít i pod 5 m, nebudou však z důvodů zachování minimální neporušené tloušťky masivu uvažovány.


4.2.2 Lokalita č. 2 – Čihadlo

Vypočítané rozteče mezi UOS pro lokalitu Čihadlo a vybrané rozteče tunelů 25 m a 35 m mezi tunely uvádí Tab.21.

Ani termofyzikální vlastnosti HB na lokalitě Čihadlo nevedou při zvolené metodice výpočtu a době skladování 65 let k uspokojivým výsledkům uložení UOS NJZ v horizontální variantě ukládání a stejně jako v lokalitě Kraví hora i při velkých roztečích mezi UOS či tunely dochází vždy k překročení limitní teploty. Řešením situace by opět mohla být prodloužená doba mezi vyjmutím paliva z AZ a uložení v úložišti na cca 71,5 roků tak, aby dostatečně klesl tepelný výkon uvolňovaný z paliva např. na hodnoty UOS ETE.

U vertikální varianty UOS EDU mohou být rozteče pod 5 m (zejména při rozteči mezi tunely 35 m), nebudou však z důvodů zachování minimální neporušené tloušťky masivu uvažovány.

Ze srovnání lokalit Kraví Hora a Čihadlo je patrné, že i malé zvýšení součinitele tepelné vodivosti o 0,1 W/mK vede k změně roztečí.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017


Tab.21 Vypočítané rozteče v lokalitě Čihadlo pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]
NJZ	Horizontální	> 45	30
		> 45	25
	Vertikální	11,5	35
		12	25
ETE	Horizontální	13	30
		14	25
	Vertikální	6,5	35
		7	25
EDU	Horizontální	7	30
		7	25
	Vertikální	5,5	20
		5	25

4.2.3 Lokalita č. 3 – Horka

HB v lokalitě Horka má podprůměrný součinitel tepelné vodivosti 2,1 W/mK. Z uvedeného důvodu je základní optimalizace pro palivo 65 let od vyvezení z AZ problematická a podařilo se zjistit pouze minimální rozteče mezi UOS pro variantu UOS EDU ve vertikálním uspořádání, viz Tab.22. U ostatních typů UOS a variant ukládání dochází při zvolené metodice výpočtu a době skladování 65 let i při velkých roztečích vždy k překročení limitní teploty.

Jediná možnost jak ukládat VJP v ostatních variantách a z ostatních typů reaktorů je využít delší doby skladování v meziskladu pro snížení tepelného výkonu generovaného ve VJP. Další optimalizační výpočty prováděné na této lokalitě byly proto zaměřeny na určení potřebného času skladování. Ten však nelze zvyšovat libovolně, protože lze předpokládat, že delší uložení vyhořelého paliva v meziskladu povede ke zvýšeným nákladům a problémům se skladovacími a přepravními OS CASTOR. Při optimalizaci proto bylo snahou, aby prodloužení doby skladování bylo co nejmenší. Na druhou stranu rovněž zvýšení roztečí v úložišti vede ke zvýšeným nákladům při ukládání a v optimalizaci by tak bylo zapotřebí navzájem proti sobě porovnávat a minimalizovat zvýšené náklady např. na provoz meziskladu či prodloužení licence OS CASTOR oproti nákladům na ukládání. V dalších krocích vývoje HÚ je proto nutné se zabývat i porovnáním po ekonomické stránce.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

Tab.22 Základní rozteče v lokalitě Horka pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]
NJZ	Horizontální	> 45	35
		> 45	25
	Vertikální	> 45	35
		> 45	25
ETE	Horizontální	> 45	35
		> 45	25
	Vertikální	> 45	35
		> 45	25
EDU	Horizontální	> 45	35
		> 45	25
	Vertikální	8	35
		8,2	25

Z uvedeného důvodu byly provedeny dva variantní optimalizační výpočty doby meziskladování:


- minimalizace času a maximální využití dostupné plochy HB lokality Horka,
- minimalizace času s optimálními zvolenými roztečemi.

V případě a) byla použita dostupná využitelná plocha HB 3 285 750 m², která byla váženě podle počtu ukládaných UOS daných typů rozdělena na 3 díly:

- NJZ: 1 157 714 m²
- VVER-1000: 771 672 m²
- VVER-440: 1 329 227 m²

Z nich byly pro rozteče tunelů 25 m a 35 m počítány rozteče mezi UOS pro tuto geometrii, pak byl dopočítán potřebný čas skladování VJP. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab.23.

Varianta b) spočívala v pevném stanovení roztečí mezi UOS podle předchozích výpočtů na lokalitách s přibližně průměrnými termofyzikálními vlastnostmi. Zvolené hodnoty roztečí jsou patrné v Tab.24. Pro pevně stanovené rozteče mezi UOS a tunely pak byl výpočtově hledán minimální časový interval skladování od vyvezení paliva z AZ po uložení, pro který již v úložišti nebyla překročena limitní teplota.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

Tab.23 Čas skladování při maximálním využití plochy lokality Horka

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]	Doba od vyvezení z AZ [roky]	Tepelný výkon UOS [W]
NJZ	Horizontální	12,2	35	81,5	990
		17,13	25	80	1008
	Vertikální	12,2	35	75,5	1065
		17,13	25	74	1085
ETE	Horizontální	12,16	35	75	988
		17,1	25	73	1013
	Vertikální	12,2	35	69	1067
		17,03	25	67	1095
EDU	Horizontální	12,24	35	67	637
		17,13	25	67	637
	Vertikální	8	35	65	655
		8,2	25	65	655

Tab.24 Čas skladování při optimálních roztečích na lokalitě Horka

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]	Doba od vyvezení z AZ [roky]	Tepelný výkon UOS [W]
NJZ	Horizontální	15	35	79,5	1013
		15	25	80	1008
	Vertikální	13	35	74,5	1078
		13	25	75	1071
ETE	Horizontální	15	35	73	1013
		15	25	73,5	1006
	Vertikální	7,5	35	74,5	994
		7,5	25	75	988
EDU	Horizontální	7	35	71	605
		7	25	71,5	601
	Vertikální	8	35	65	655
		8,2	25	65	655



4.2.4 Lokalita č. 4 - Hrádek

HB v lokalitě Hrádek má velmi podobné termofyzikální vlastnosti jako na lokalitě Čihadlo a tedy i dosažené rozteče budou podobné. Rovněž zde není možné při zvolené metodice výpočtu a době skladování 65 let od vyjmutí z AZ ukládat variantu UOS NJZ - horizontální, neboť vždy bude překročena limitní teplota. Stejně jako na předchozích lokalitách by řešením situace opět mohla být prodloužená doba mezi vyjmutím paliva z AZ a uložením v úložišti na cca 71,5 roku tak, aby dostatečně klesl tepelný výkon uvolňovaný z paliva např. na hodnoty UOS ETE. Výsledky výpočtů roztečí mezi UOS jsou pro rozteče tunelů 25 m a 35 m uvedeny v Tab.25.

Pro ověření minimální vzdálenosti ve variantě UOS EDU vertikální byl tentokrát počítán rovněž interval roztečí mezi 4 až 5 m, tyto malé rozteče však nebudou z důvodů zachování minimální neporušené tloušťky masivu použity.

Tab.25 Rozteče v lokalitě Hrádek pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]
NJZ	Horizontální	> 45	35
		> 45	25
	Vertikální	11	35
		11,5	25
ETE	Horizontální	12,5	35
		13,5	25
	Vertikální	6,5	35
		7	25
EDU	Horizontální	6,5	35
		6,5	25
	Vertikální	4,25	35
		4,7	25

4.2.5 Lokalita č. 5 – Březový potok

HB v lokalitě Březový potok má velmi podobné termofyzikální vlastnosti jako na lokalitě Kraví hora a rovněž vypočítané rozteče jsou podobné. Také zde není možné při zvolené metodice výpočtu ukládat variantu UOS NJZ - horizontální při době skladování 65 let od vyvezení z AZ z důvodu překročení limitní teploty. Obdobně jako v dříve diskutovaných lokalitách je možným řešením delší doba skladování paliva z NJZ, např. na úroveň počátečního výkonu UOS ETE, čemuž odpovídá doba cca 71,5 let. Výsledky výpočtů roztečí mezi UOS jsou pro rozteče tunelů 25 m a 35 m uvedeny v Tab.26. Pro ověření minimální vzdálenosti ve variantě

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

UOS EDU vertikální byl počítán rovněž interval roztečí mezi 4-5 m, tyto rozteče však nebudou z důvodů zachování minimální neporušené tloušťky masivu použity.


Tab.26 Rozteče v lokalitě Březový potok pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]
NJZ	Horizontální	> 45	35
		> 45	25
	Vertikální	12,75	35
		13,5	25
ETE	Horizontální	14,5	35
		15,5	25
	Vertikální	7	35
		7,5	25
EDU	Horizontální	6,75	35
		7	25
	Vertikální	4,5	35
		4,75	25

4.2.6 Lokalita č. 6 - Čertovka

HB v lokalitě Čertovka má nejvhodnější termofyzikální vlastnosti ze všech studovaných lokalit. Výsledky výpočtů roztečí mezi UOS jsou pro různé rozteče tunelů uvedeny v Tab.27. Pro ověření minimální vzdálenosti ve variantě UOS EDU vertikální byl počítán rovněž interval roztečí mezi 4 – 5 m, tyto rozteče však nebudou z důvodů zachování minimální neporušené tloušťky masivu použity.

Jako na jediné lokalitě se na Čertovce díky vhodným termofyzikálním vlastnostem podařilo i při zvolené metodice výpočtu nalézt rozteče UOS NJZ pro horizontální ukládání. Rozteče však i v tomto případě vycházejí značně velké, viz Tab.27, takže pro praktický návrh úložiště bude i zde vhodnější prodloužit dobu skladování VJP z NJZ na 71,5 let od vyvezení z AZ a uložit jej tak až s tepelným výkonem 1125 W. Rozteče by tedy v tomto případě odpovídaly ukládání UOS ETE. Tato varianta je rovněž uvedena v Tab.27, kde je označena *.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017


Tab.27 Rozteče v lokalitě Čertovka pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]
NJZ	Horizontální	30	40
		31	35
		8*	35*
		8,5*	25*
	Vertikální	7	35
		7,5	25
ETE	Horizontální	8	35
		8,5	25
	Vertikální	5,25	35
		6,25	25
EDU	Horizontální	4,75	35
		5	25
	Vertikální	4	35
		4,2	25

* Prodloužená doba skladování

4.2.7 Lokalita č. 7 - Magdaléna

Protože jde o HB s nejhoršími termofyzikálními vlastnostmi ze všech sledovaných, nepodařilo se při zvolené metodice výpočtu dosáhnout reálných roztečí při době skladování VJP 65 let od vyvezení z reaktoru u žádného z uvažovaných typů UOS ani variant skladování. Lokalita proto byla řešena na základě přístupu popsaném v lokalitě Horka (viz kap. 4.2.3) a výsledkem jsou navrhované prodloužené doby skladování paliva přes 65 let. Rozteče mezi UOS a tunely byly zvoleny ve stejných hodnotách jako u obdobně počítané lokality Horka varianta b) a pro variantu UOS EDU vertikální byla zvolena rozteč UOS 5 m, která se jeví z důvodů zachování minimální neporušené tloušťky masivu jako dostatečná. Výsledky výpočtů jsou prezentovány v Tab.28.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017


Tab.28 Čas skladování při optimálních roztečích na lokalitě Magdaléna

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]	Doba od vyvezení z AZ [roky]	Tepelný výkon UOS [W]
NJZ	Horizontální	15	35	85,5	944
		15	25	86,5	933
	Vertikální	13	35	81,5	990
		13	25	82	984
ETE	Horizontální	15	35	78,5	945
		15	25	79	939
	Vertikální	7,5	35	81,5	912
		7,5	25	82,5	901
EDU	Horizontální	7	35	76	568
		7	25	76,5	564
	Vertikální	5	35	76,5	564
		5	25	77	560

4.2.8 Lokalita č. 8 - Na Skalním (polygon EDU západ)

Lokalita Na Skalním patří z hlediska termofyzikálních vlastností HB k horším. Uvedená skutečnost vedla při výpočtech k situaci, kdy se pro standardní dobu skladování 65 let od vyvezení z AZ podařilo najít reálné rozteče pouze pro typ UOS EDU a variantu vertikálního ukládání. Ostatní výpočty byly řešeny časovou optimalizací pro zvolené rozteče UOS a tunelů. Obě rozteče byly voleny ve stejné velikosti jako u ostatních lokalit počítaných tímto způsobem (Horka, Magdaléna). Výsledky výpočtů jsou spolu s roztečemi prezentovány v Tab.29.

Protože i rozteče mezi UOS při vertikálním ukládání UOS EDU vycházejí na této lokalitě nadstandardně velké, nabízí se i v tomto případě možnost jejich zmenšení pomocí optimalizace prodloužení času skladování VJP.

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

Tab.29 Výsledky výpočtů na lokalitě Na Skalním pro zvolené rozteče

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]	Doba od vyvezení z AZ [roky]	Tepelný výkon UOS [W]
NJZ	Horizontální	15	35	81	996
		15	25	81,5	990
	Vertikální	13	35	75,5	1065
		13	25	76	1058
ETE	Horizontální	15	35	74	1000
		15	25	74,5	994
	Vertikální	7,5	35	75,5	981
		7,5	25	76,5	969
EDU	Horizontální	7	35	72	597
		7	25	72,5	593
	Vertikální	9	35	65	655
		9,2	25	65	655

4.2.9 Lokalita č. 9 - Janoch (polygon ETE jih)

Termofyzikální vlastnosti HB na lokalitě Janoch patří mezi lehce nadprůměrné oproti ostatním lokalitám. Uvedená skutečnost vedla při výpočtech k situaci, kdy se pro standardní dobu skladování 65 let od vyvezení z AZ a při zvolené metodice výpočtu podařilo najít realizovatelné rozteče pro všechny typy UOS a varianty ukládání. Výjimkou je pouze UOS NJZ ve variantě horizontálního ukládání, kdy bude nezbytné prodloužit dobu skladování tak, aby zbytkový tepelný výkon poklesl např. na úroveň UOS ETE, tj. doba od vyvezení VJP NJZ z AZ by měla být cca 71,5 let. Poté je možno v této variantě uvažovat s roztečemi ETE - horizontální ukládání. Výsledky výpočtů jsou prezentovány v Tab.30.

Tab.30 Rozteče v lokalitě Janoch pro VJP skladované 65 let od vyjmutí z AZ

UOS	Způsob ukládání	Rozteč UOS [m]	Rozteč tunelů [m]
NJZ	Horizontální	> 45	35
		> 45	25
	Vertikální	13,75	35
		14,75	25
ETE	Horizontální	15,75	35
		17,25	25
	Vertikální	7,25	35
		7,25	25
EDU	Horizontální	7	35
		7,25	25
	Vertikální	4,5	35
		4,7	25

4.3 Výpočty dlouhodobého teplotního vývoje úložiště pro dané lokality

Výpočet dlouhodobého teplotního vývoje úložiště je založen na stejném fyzikálně-matematickém modelu jako optimalizační výpočet. Počítá s již známými roztečemi UOS a tunelů pro jednotlivé lokality uvedenými v kap. 4.2 v Tab.20 až Tab.30, které však byly mírně modifikovány na základě pevnostních výpočtů. Vzhledem k tomu, že je na jednotlivých lokalitách uvažováno rozdělení úložiště do polí a sekcí podle aktuální geologické konfigurace, jsou základní vztahy pro určení teploty vždy modifikovány tak, aby pro konkrétní lokalitu respektovaly vzdálenosti ostatních UOS od počítaného místa.

Výsledkem výpočtů jsou časové průběhy teploty HB na okraji charakteristických zvolených vývrtů ve vybraných polích (sekcích, blocích). Konkrétní číslování a označení pozic se liší v jednotlivých lokalitách i variantách ražby i ukládání a je uvedeno vždy v popisu daného výpočtu. Počítána a prezentována je pro pozici pouze maximální teplota vývrtu, tj. teplota na spojnici mezi UOS, viz Obr.2 pro vertikální variantu ukládání nebo Obr.3 pro horizontální variantu. Protože jednotlivé typy UOS mají rozdílné limitní teploty HB, jsou pro snadnější kontrolu nepřekročení této veličiny u každého výpočtu tři grafy pro pozice u daného typu UOS.

Okolí HB a prostory mezi jednotlivými poli úložiště jsou ve zvoleném výpočtovém modelu uvažovány s termofyzikálními vlastnostmi HB. Nejsou uvažovány žádné nehomogenity,



geologické zlomy apod., které v praxi termofyzikální vlastnosti hornin mění. Toto zjednodušení lze považovat za hlavní výrazné omezení přesnosti výsledků.

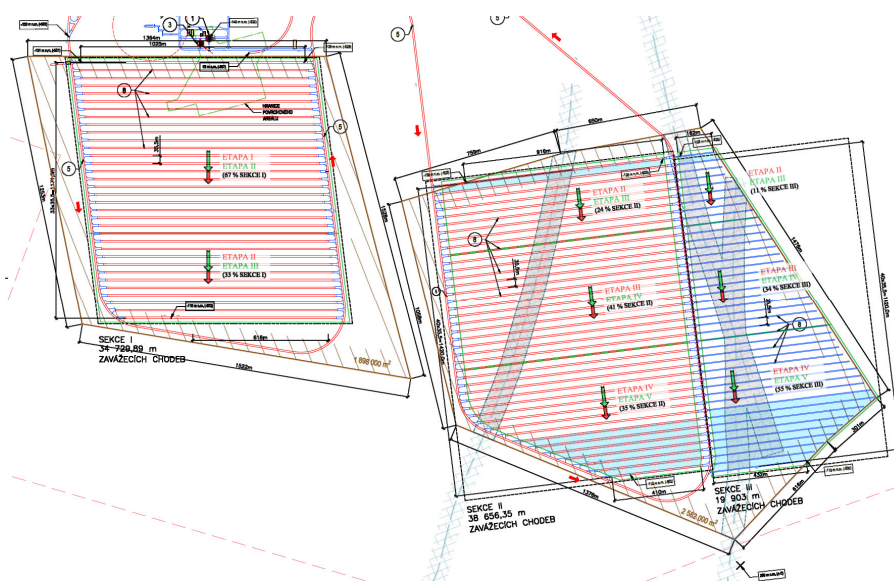
Zavezení úložiště jednotlivými UOS je uvažováno v jednom časovém okamžiku v souladu se závěry kap. 3.2. Zavážení jednotlivých typů UOS do sekcí či bloků je bráno na základě doporučeného postupu ze zpráv k jednotlivým lokalitám. Nejdříve jsou pozice zaplněny UOS EDU, poté UOS ETE a zbylé pozice pak UOS NJZ. Z důvodu konzervativnosti výsledků jsou vždy sekce plněny co nejkompaktněji, tj. např. bez případných prostor pro zlomy.

Časový vývoj teplot je počítán od zavezení úložiště až do doby 100000 let.

4.3.1 Lokalita č. 1 – Kraví hora

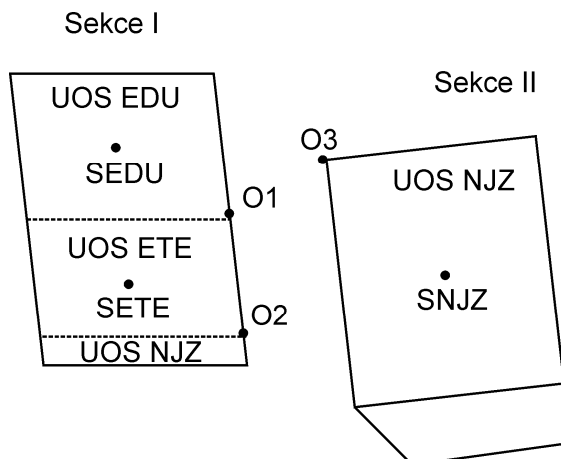
Vertikální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení podle [23], příloha dispoziční řešení D1, rozděluje úložiště do tří sekcí: sekci I s 34 zavážecími chodbami délky do 1025 m, sekci II se 41 chodbami délky od 410 do 1025 m a sekci III se 42 chodbami velmi proměnné délky, viz Obr.26. Mezi sekcí I a II, které se nachází v oddělených HB, je vzdálenost cca 550m, mezi sekcí II a III je kvůli obslužné chodbě mezera 64,3 m. Rozteče mezi zavážecími chodbami jsou 35,5 m a mezi UOS: EDU 5,5 m, ETE 7,5 m a NJZ 13,5 m.



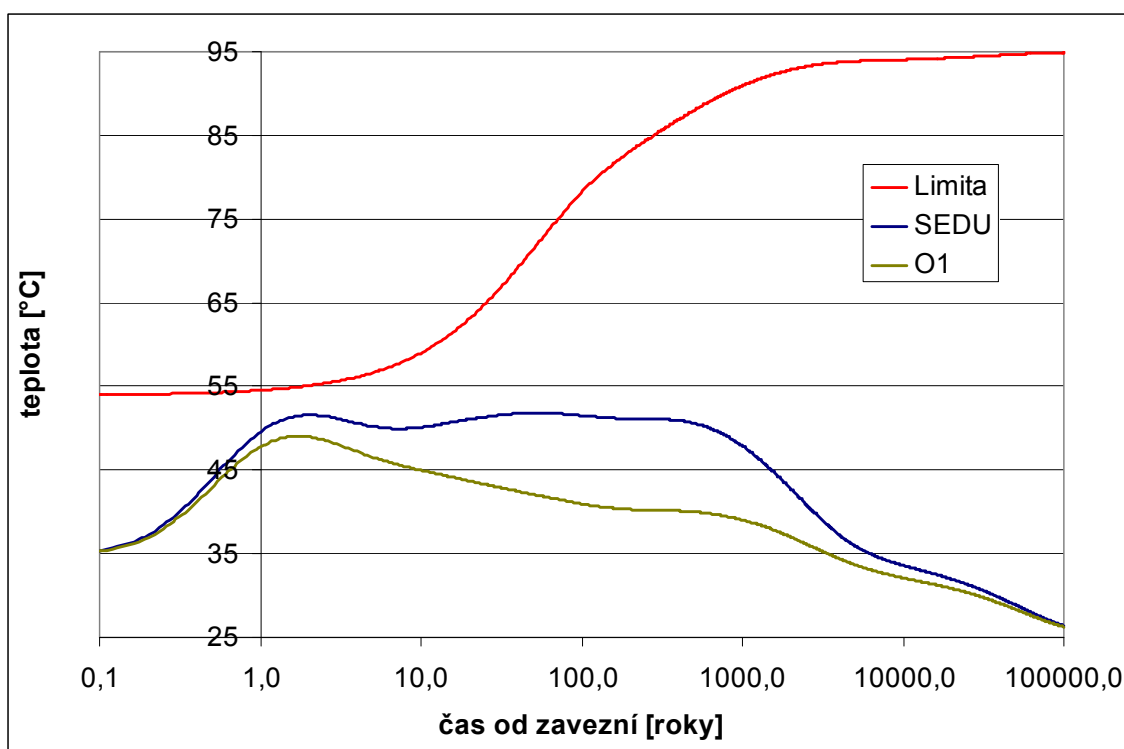
Obr.26 Dispoziční řešení lokality Kraví hora, vertikální ukládání, ražba TBM, [23], příloha dispoziční řešení D1

Uvedené dispoziční řešení bylo pro teplotní výpočet rozděleno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.27. Umístění jednotlivých typů UOS do zavážecích chodeb vychází z návrhu zavážení HÚ v [23] - příloha dispoziční řešení D1. Nejdříve je zaplněno 17 zavážecích chodeb sekce I UOS EDU, poté zbylých 14 chodeb této sekce UOS ETE. Zbylé 3 zavážecí chodby sekce I jsou zaplněny UOS NJZ. V sekci II je zavezeno 34 zavážecích chodeb zbylými UOS NJZ. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS vzhůru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy vyšším teplotám v HÚ.



Obr.27 Geometrie teplotního výpočtu lokality Kraví hora, vertikální ukládání, ražba TBM

Počítány byly teploty ve středových pozicích všech tří oblastí zavážených daným typem UOS a vybrané rohové pozice. Jejich poloha a značení je patrné z Obr.27. Středové pozice dávají dobrou představu o vývoji maximálních teplot v HÚ. Okrajová pozice O1 náleží k UOS EDU a pozice O2 k UOS ETE. Průběhy teplot jsou pro jednotlivé typy UOS a tedy různé limitní teploty HB v grafech na Obr.28 až Obr.30.



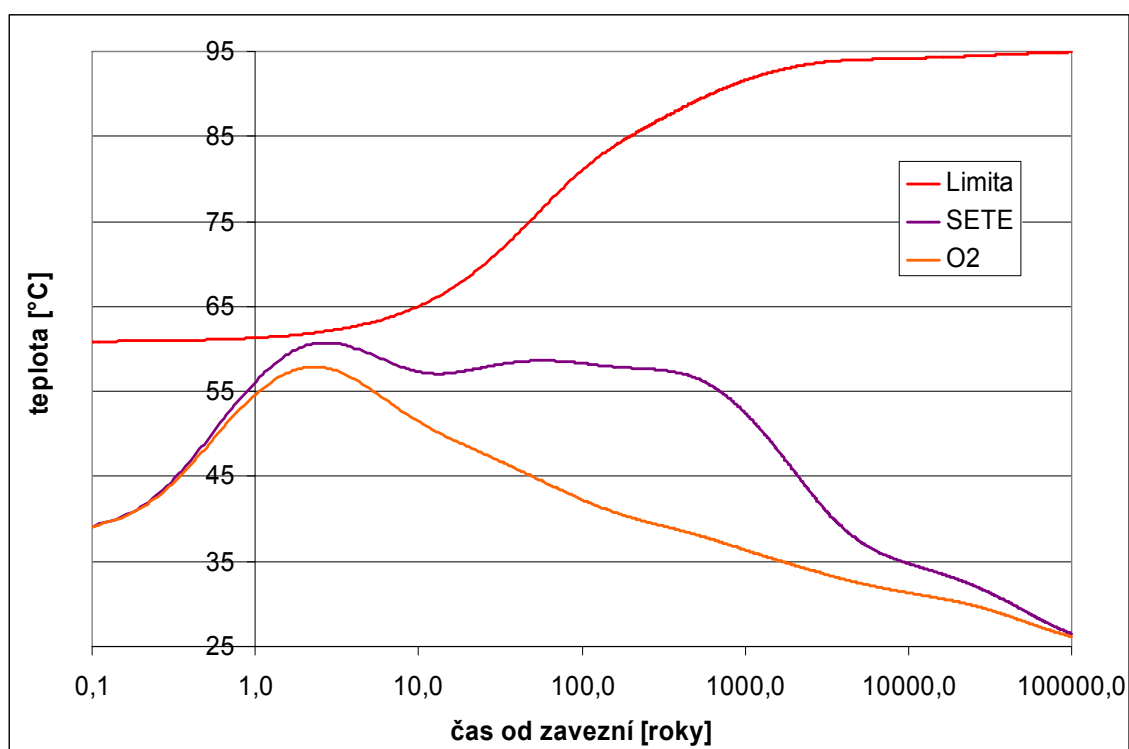
Obr.28 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM

UOS EDU bylo zaváženo pouze do sekce I. V této oblasti byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SEDU (jedná se o střed části zaplněné UOS EDU) a okrajové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB na okraji vývrtu pro UOS EDU v grafu na

Obr.28. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty má středová pozice SEDU. Maximální teploty 51,8 °C je zde dosaženo v čase cca 50 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 19,8 °C. Křivka má plochý charakter a teploty jsou po dlouhou dobu až do cca 800 let od zavezení okolo 50 °C. Nejmenší rezerva do limity je pro tuto pozici 3,4 °C nastává v čase 1,7 roku po zavezení.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou obecně nižší. Maximální teplota 49,1 °C je zde dosažena již v čase 1,8 roku po zavezení a rezerva k limitní teplotě je pak 5,9 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá. Nejnižší rezerva k limitní teplotě je v čase 1,5 roku od zavezení a činí cca 5,8 °C.

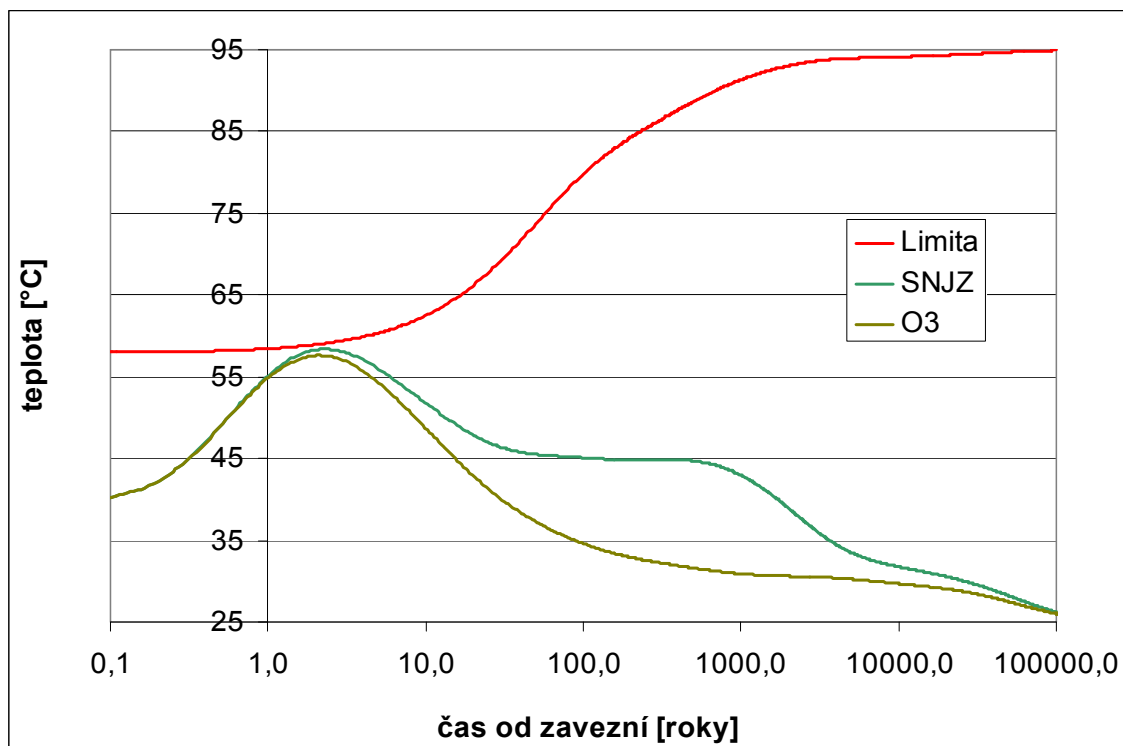


Obr.29 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM

UOS ETE bylo zaváženo do částí sekce I. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové označené SETE, která je ve středu části zavážené UOS ETE a okrajové (na okraji a současně rozhraní s částí zavezenou UOS NJZ). Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.29. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teploty má na středová pozice SETE. Maximální teploty 60,7 °C je zde dosaženo v čase 2,7 roků po zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 1,3 °C. Nejmenší rezerva do limitní teploty 1,2 °C nastává pro tuto pozici o chvíli dříve v čase 2,2 let od zavezení. Teploty této pozice jsou po delší časový úsek (do cca 800 let) zvýšené a pohybují se nad 55 °C.

Teploty na rohové pozici O2 jsou nižší. Maximální teplota 57,9 °C zde nastává v čase 2,3 roků po zavezení a rezerva k limitní teplotě je 4 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá. Nejnižší rezerva k limitní teplotě nastává ve 2 letech po zavezení a je cca 3,9 °C.



Obr.30 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM

UOS NJZ byly zaváženy do malé části sekce I a větší část pak do sekce II. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na pozici středové označené SNJZ a rohové O3. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.30Obr.43. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

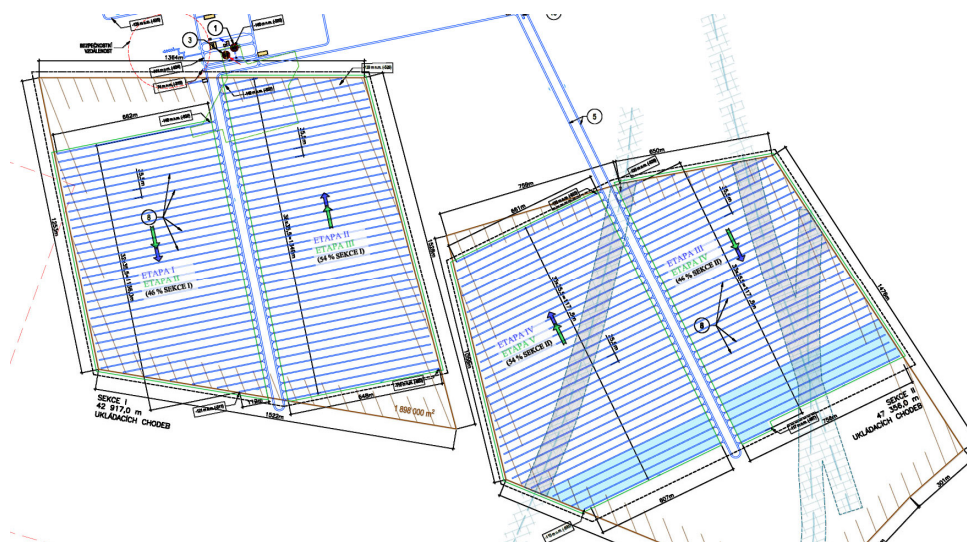
Nejvyšší teplota 58,3 °C je na středové pozici SNJZ dosažena v 2,3 letech od zavezení do HÚ. Rezerva do limitní tepoty je v tomto případě 0,7 °C. Nejnižší rezerva 0,6 °C nastává ve 2 letech po zavezení.

Teploty na rohové pozici O3 jsou nižší. Maximální teplota 57,6 °C zde nastává již v čase 2,1 roků po zavezení a rezerva k limitní teplotě je v tomto čase 1,3 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá.

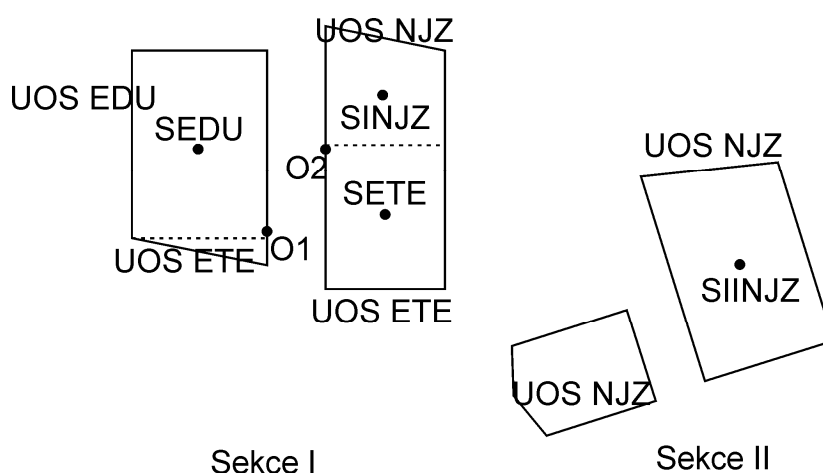
Vertikální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení podle [23], příloha dispoziční řešení D2, rozděluje úložiště do dvou sekcí, viz Obr.31. Sekce I má 33 zavážecích chodeb s převažující délkou 662 m v levém bloku a 39 zavážecích chodeb s mírně se zmenšující délkou v pravém bloku. Sekce II umístěná v samostatném HB má ve svém levém bloku 34 zavážecích chodeb s proměnnou délkou a stejně tak 34 chodeb v pravém bloku. Mezi bloky je vždy 80 m široká mezera pro obslužné

chodby a mezi sekcí I a II, které se nachází v oddělených HB, je vzdálenost cca 160 m. Rozteče mezi zavázečními chodbami jsou 35,5 m a mezi UOS: EDU 5,5 m, ETE 7,5 m a NJZ 13,5 m.



Obr. 31 Dispoziční řešení lokality Kraví hora, vertikální ukládání, konvenční ražba, [23], příloha dispoziční řešení D2

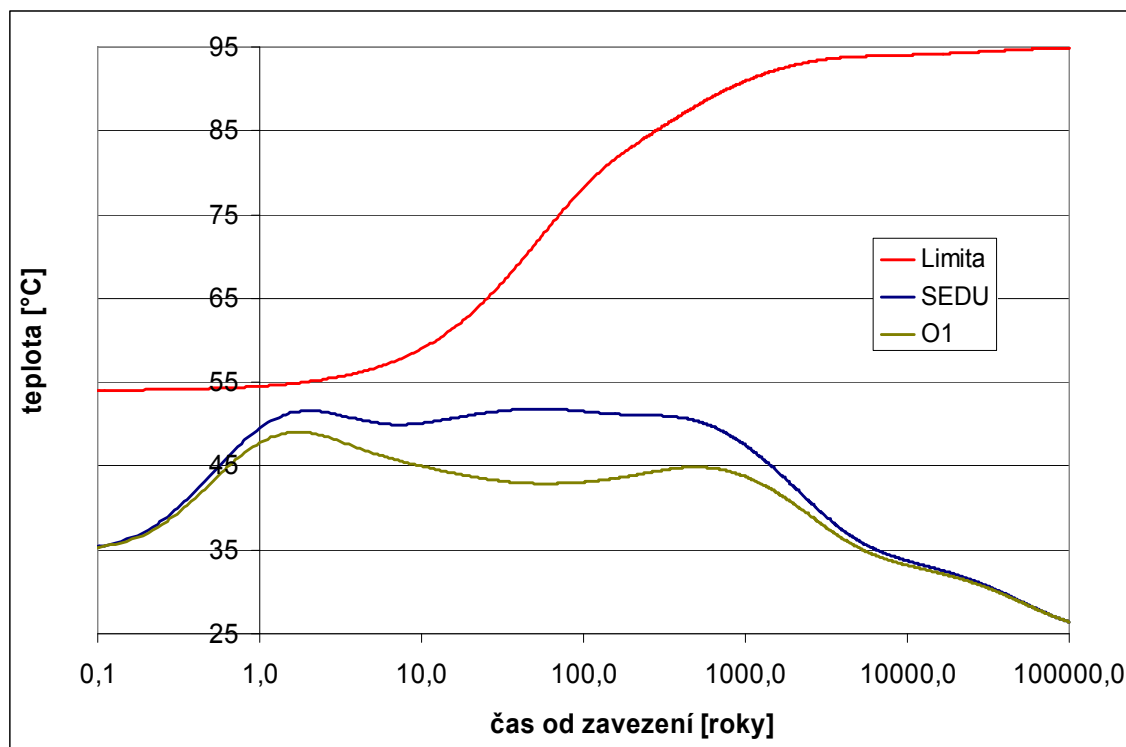


Obr. 32 Geometrie teplotního výpočtu lokality Kraví hora, vertikální ukládání, konvenční ražba

Uvedené dispoziční řešení bylo pro teplotní výpočet rozděleno a zavedeno UOS podle schéma na Obr.32. Umístění jednotlivých typů UOS do zavázečních chodeb vychází z návrhu zavážení HÚ v [23] - příloha dispoziční řešení D2. Nejdříve je zaplněno 30 zavázečních chodeb sekce I UOS EDU, poté zbylých 6 chodeb této sekce UOS ETE. Zbylé UOS ETE jsou umístěny v pravém bloku sekce I (19 zavázečních chodeb). Zbytek volných zavázečních chodeb pravého bloku sekce I je zaplněn UOS NJZ. V sekci II je nejprve UOS NJZ zcela zaplněn pravý blok a zbylé (12 zavázečních chodeb) jsou umístěny v levém bloku. Vždy jsou uvažovány zavázeční chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS vzhůru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy vyšším teplotám v HÚ.

Počítány byly teploty ve středových pozicích všech tří oblastí zavážených daným typem UOS a vybrané okrajové pozice. Jejich poloha a značení je patrné z Obr.32. Pozice SEDU je

středem levého bloku sekce I zavezené UOS EDU a okrajová pozice O1 náleží krajnímu UOS EDU. Pozice SETE je středem pravého bloku sekce I části zavezené UOS ETE a okrajová pozice O2 náleží krajnímu UOS ETE. Pozice SINJZ je středem pravého bloku sekce I části zavezené UOS NJZ a pozice SIINJZ je středem pravého bloku sekce II. Průběhy teplot jsou pro jednotlivé typy UOS a tedy různé limitní teploty HB v grafech na Obr.33 až Obr.35.

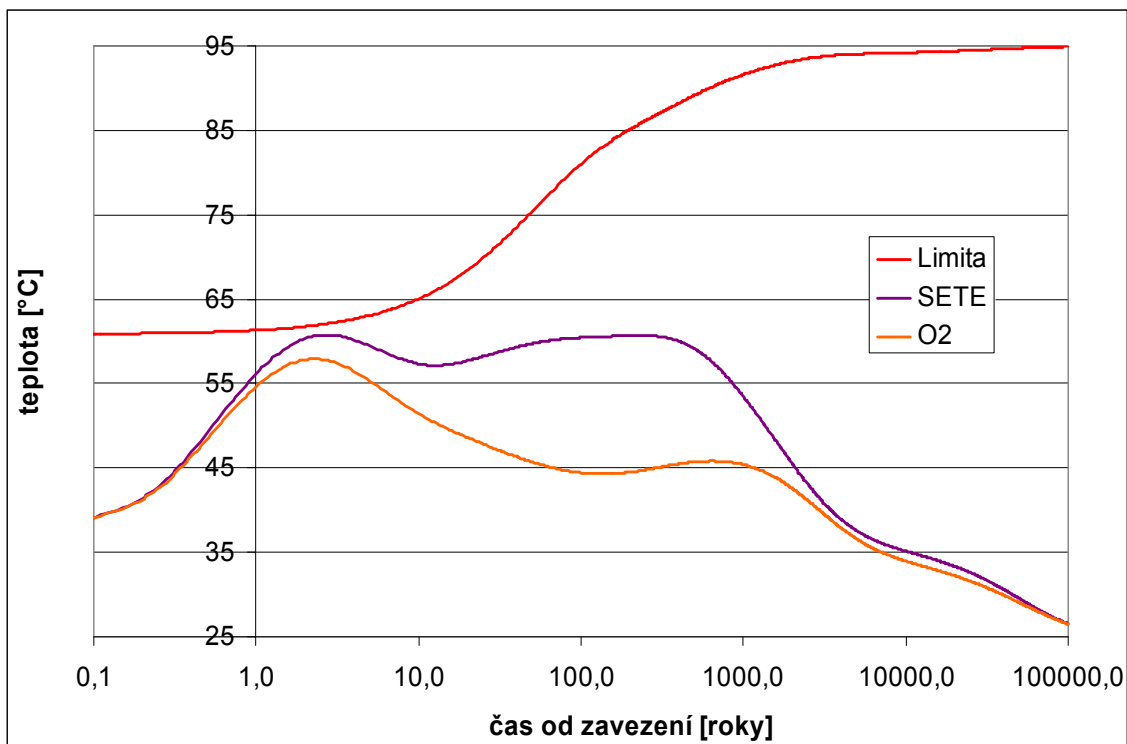


Obr.33 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba

UOS EDU bylo zaváženo pouze do levého bloku sekce I. V této oblasti byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SEDU (jedná se o střed části zaplněné UOS EDU) a okrajové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB na okraji vývrtnu pro UOS EDU v grafu na Obr.33. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SEDU. Maximální teploty 51,8 °C je zde dosaženo v čase cca 55 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 20,5 °C. Křivka má plochý charakter a teploty jsou po dlouhou dobu až do cca 700 let od zavezení okolo 50 °C. Nejmenší rezerva do limity je pro tuto pozici 3,4 °C nastává v čase 1,7 roku po zavezení.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 49,1 °C je zde dosažena již v čase 1,7 roku po zavezení a rezerva k limitní teplotě je pak 5,9 °C. Od této chvíle teplota pouze klesá. Nejnižší rezerva k limitní teplotě je v čase 1,5 roku od zavezení a činí cca 5,8 °C.



Obr.34 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba

UOS ETE bylo zaváženo do obou bloků sekce I. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na dvou pozicích pravého bloku: středové označené SETE, která je ve středu části zavážené UOS ETE a okrajové (na okraji a současně rozhraní s částí zavezenou UOS NJZ). Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.34. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavážené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

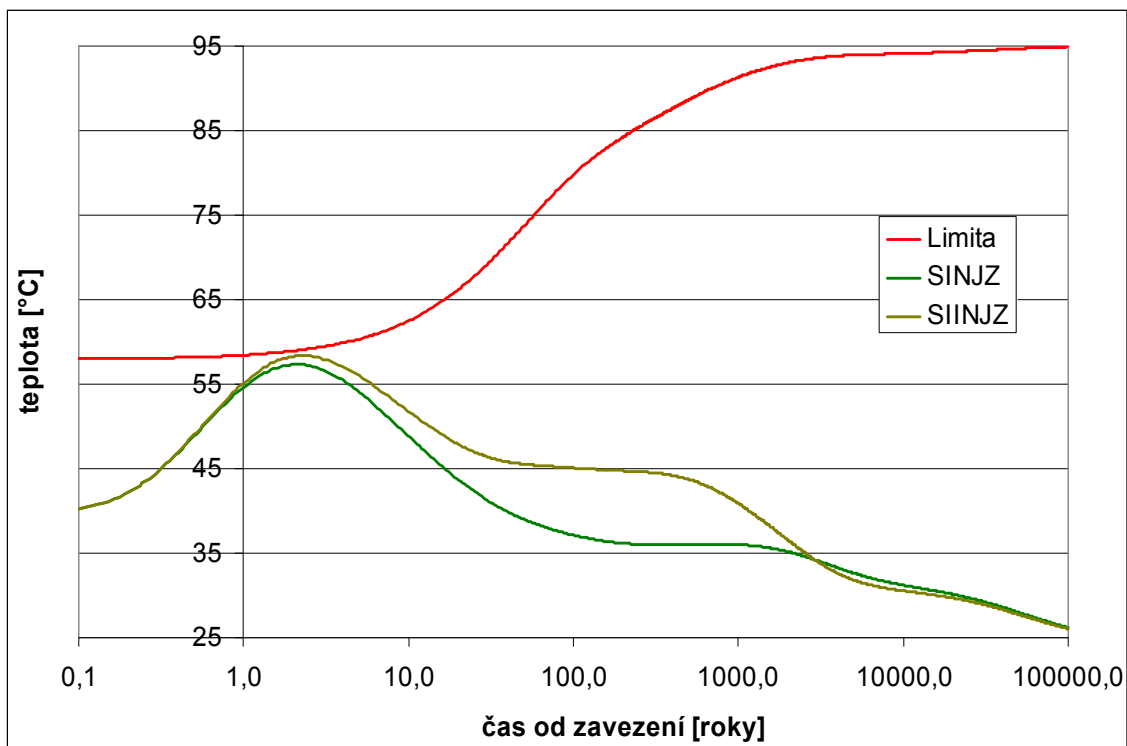
Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SETE. Maximální teploty 60,7 °C je zde dosaženo ve dvou časech. Nejdříve v čase 2,7 roků po zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 1,3 °C. Druhým časem, kdy je dosaženo stejné teploty, je 230 roků po zavezení, s rezervou do limitní teploty 25,1 °C. Nejmenší rezerva do limitní teploty 1,2 °C nastává pro tuto pozici o chvíli dříve v čase 2,3 roků od zavezení. Teploty této pozice jsou po delší časový úsek (do cca 850 let) zvýšené a pohybují se nad 55 °C.

Teploty na rohové pozici O2 jsou nižší. Maximální teplota 57,9 °C zde nastává v čase 2,3 roků po zavezení a rezerva k limitní teplotě je 4 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá. Nejnižší rezerva k limitní teplotě nastává ve 2 letech po zavezení a je cca 3,9 °C.

UOS NJZ byly zaváženy do pravého bloku sekce I a zejména do sekce II. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na dvou středových pozicích označených SINJZ a SIINJZ, podle toho o jakou sekci se jedná. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.35. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavážené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teplota 57,3 °C je na středové pozici SINJZ dosažena v 2,1 letech od zavezení do HÚ. Rezerva do limitní teploty je v tomto případě 1,6 °C. Nejnižší rezerva 1,5 °C nastává v 1,8 letech po zavezení HÚ.

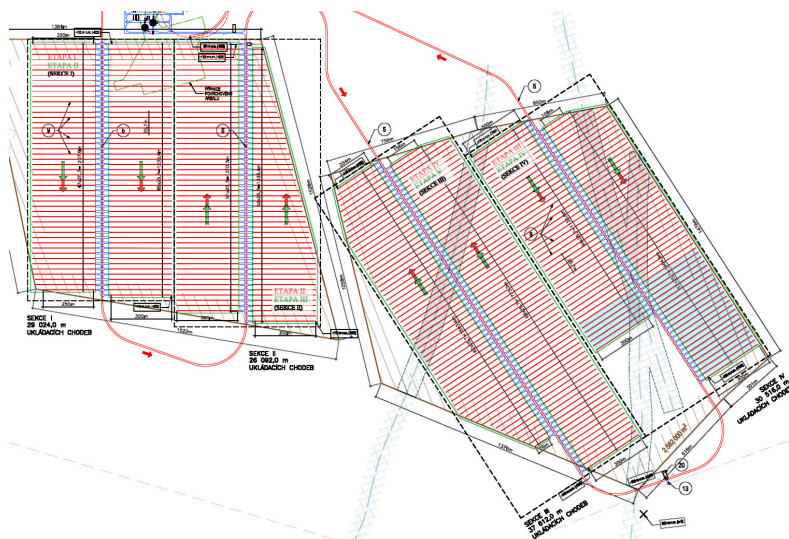
Teploty na středové pozici SINJZ jsou pouze mírně vyšší. Maximální teplota 58,4 °C zde nastává v čase 2,3 roku po zavezení a rezerva k limitní teplotě je v tomto okamžiku 0,6 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá.



Obr.35 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba

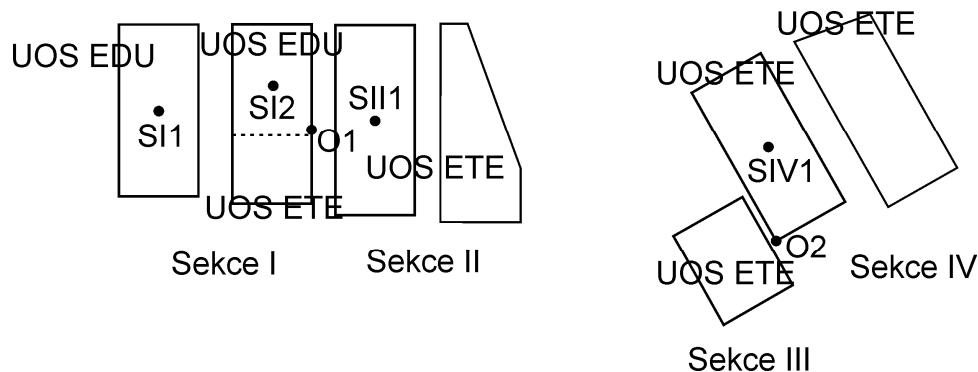
Horizontální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení podle [23], příloha dispoziční řešení D3, rozděljuje úložiště do čtyř sekcí, viz Obr.36. Sekce I (zcela vlevo) obsahuje má ukládací vrty o jednotné délce 300 m, v levém bloku je 48 vrtů a pravém 49 vrtů. Mezi nimi je prostor o šířce 87,5 m s chodbou. Sekce II má 52 ukládacích vrtů o konstantní délce 300 m v levém bloku, v pravé části se vrty zkracují ze 300 m na 43 m. Pouze 14 vrtů z této části má plnou délku 300 m. Sekce III a IV jsou od prvních posunuty a jsou k nim natočeny o úhel cca 30°. Sekce III má v levém bloku 63 vrtů nestejných délek (převažuje 300 m) v pravé části pak 70 vrtů, téměř všechny o délce 300 m. Sekce IV má téměř všechny vrty délky 300 m, v levém bloku je jich 45 v pravém 58. Mezi sekcemi je mezera 25 m, rozteče mezi ukládacími vrty jsou 25,7 m. Mezi UOS jsou rozteče: UOS EDU 7,5 m a mezi UOS ETE 16 m.



Obr.36 Dispoziční řešení lokality Kraví hora, horizontální ukládání, ražba TBM, [23], příloha dispoziční řešení D3

Uvedené dispoziční řešení bylo pro teplotní výpočet rozděleno a zavedeno UOS podle schéma na Obr.37. Protože UOS NJZ nelze s původním výkonem 1221 W ukládat (limitní teplota je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno jeho uložení až po 71,5 letech skladování, kdy jeho tepelný výkon klesne na úroveň 1125 W, tj. UOS ETE. Protože geometrické konfigurace UOS NJZ a UOS ETE jsou stejné, jsou proto ve výpočtu uvažovány pouze typy UOS: UOS EDU (3100 ks) a UOS ETE (celkem 4500 ks).



Obr.37 Geometrie teplotního výpočtu lokality Kraví hora, horizontální ukládání, ražba TBM

Umístění jednotlivých typů UOS do ukládacích chodeb vychází z návrhu zavážení HÚ v [23] - příloha dispoziční řešení D3. Nejdříve je zaplněno UOS EDU 48 ukládacích vrtů levého bloku sekce I. Pravý blok této sekce je zavezen ve 32 vrtech UOS EDU a 17 zbylých vrtů je zaplněno UOS ETE. Sekce II a sekce IV obsahuje pouze UOS ETE. Sekce III je podle ukládacího návrhu zavezena až na konec, proto je v ní ve výpočtu pouze 33 vrtů pravého bloku zavezeno z vnějšího okraje zbylými UOS ETE. Vždy jsou uvažovány ukládací vrty zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS vzhůru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS v HÚ a tedy k vyšším teplotám v HÚ.

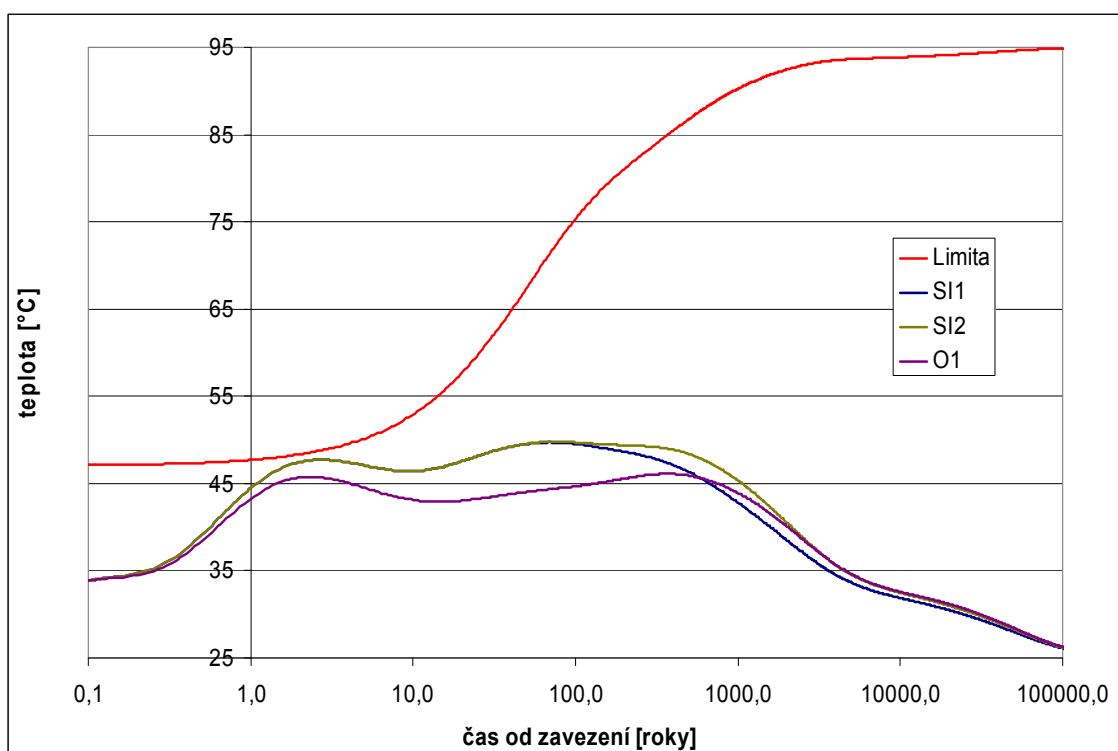
Počítány byly teploty ve středových pozicích obou bloků sekce I zavážených UOS EDU. Pozice SI1 je ve středu bloku, pozice SI2 je ve středu oblasti zavezené UOS EDU. Jako poslední pozice s UOS EDU byla počítána okrajová pozice O1. V sekcích zavezených UOS ETE byla počítána teplota na pozici SII1 a SIV1, kde jde vždy o středové pozice levého bloku

dané sekce. Jako doplňující byla rovněž spočítána teplota na pozici O2. Poloha počítaných pozic a jejich značení je patrné z Obr.37. Průběhy teplot jsou pro jednotlivé typy UOS a tedy různé limitní teploty HB v grafech na Obr.38 a Obr.39.

Průběhy teplot sledovaných pozic pro UOS EDU jsou spolu s limitní teplotou HB na okraji vývrtu UOS EDU v grafu na Obr.38. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

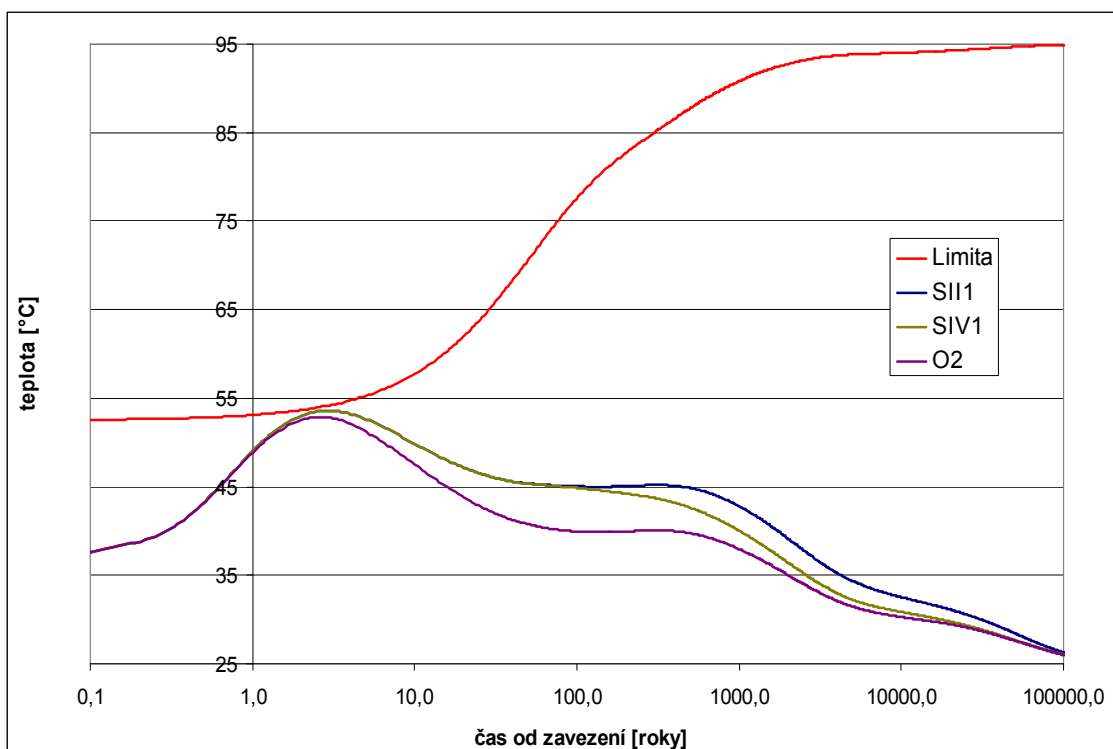
Nejvyšší teploty jsou dosahovány na obou středových pozicích SI1 a SI2, přičemž až do cca 100 let od zavezení se obě teploty příliš neliší. Maximální teploty 49,7 °C (resp. 49,8 °C pro SI2) je zde dosaženo v čase cca 75 let od zavezení, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik cca 22,5 °C. Nejmenší rezerva do limity je pro obě pozice 0,9 °C a nastává v čase 2,1 roku po zavezení.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou mírně nižší. Maximální teplota 46,1 °C je zde dosažena v čase 370 let po zavezení a rezerva k limitní teplotě je pak 38,8 °C. Nejnižší rezerva k limitní teplotě je v 1,9 roku od zavezení a má hodnotu 2,6 °C. Teplota na pozici je v tento okamžik 45,6 °C.



Obr.38 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM

Průběhy teplot na sledovaných pozicích pro UOS ETE jsou spolu s limitní teplotou HB v grafu na Obr.39. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.



Obr.39 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Kraví hora pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM

Vyšší teploty jsou dosahovány na středových pozicích SII1 a SIV1. Obě pozice mají průběh teplot až do cca 90 let od zavezení téměř totožný. Maximální teploty 53,6 °C je zde dosaženo v čase 2,9 roků po zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 0,6 °C. Nejmenší rezerva do limitní teploty nastává pro tyto pozice již chvíli dříve v čase 2,5 roku od zavezení a má hodnotu 0,4 °C.

Teploty na okrajové pozici O2 jsou celkově nižší. Maximální teplota 52,8 °C zde nastává v čase 2,6 roků po zavezení a rezerva k limitní teplotě je 1,4 °C. Od této chvíle již teplota pouze klesá. Nejnižší rezerva k limitní teplotě nastává na této pozici v čase 2,3 roků po zavezení a je 1 °C.

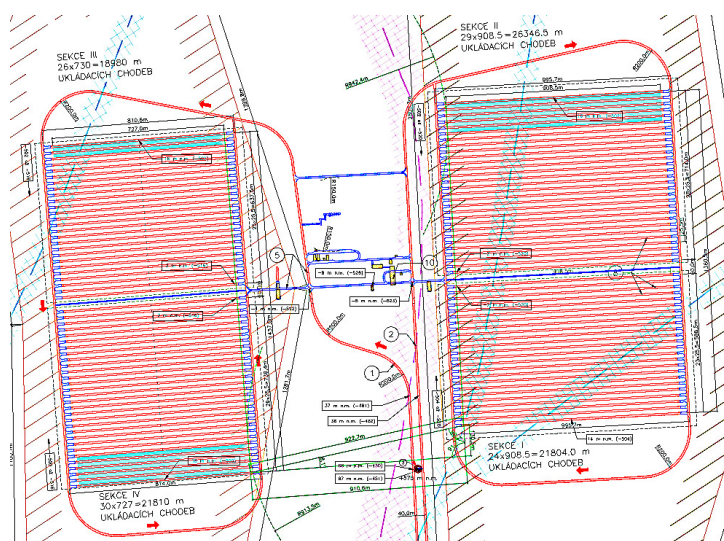
Horizontální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení se podle [23], příloha dispoziční řešení D4, téměř shoduje s dispoziční horizontálního ukládání provedeného pomocí ražby TBM (viz předchozí odstavec. Jediným rozdílem mezi oběma variantami je rozteč mezi dvěma bloky v sekcích, která se při konvenční ražbě snižuje o 1,3 m (z 87,3 m na 86 m) a o tuto vzdálenost se zvětšuje šířka pásma mezi sekcemi (z 25 m na 26 m). Vzhledem k vlivům rozměrů bloků a jejich vzdáleností na teploty v úložišti je možno tuto změnu zanedbat. Sledované průběhy teplot lze proto v této variantě řešení HÚ považovat za stejné jako v případě horizontálního ukládání provedeného metodou TBM.

4.3.2 Lokalita č. 2 – Čihadlo

Vertikální ukládání, ražba TBM

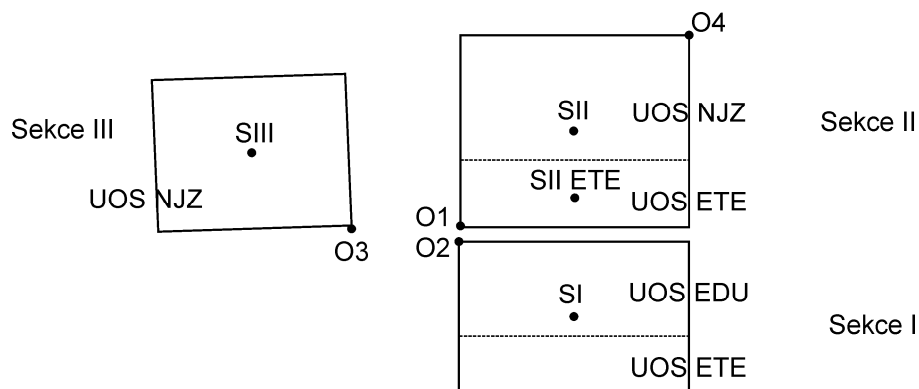
Dispoziční řešení podle [22], příloha dispozičního řešení D1, rozděluje HÚ do čtyř sekcí: sekci I s 24 chodbami délky 908,5 m, sekci II s 29 chodbami délky 908,5 m (vpravo nahoře), sekci III se 26 chodbami délky 730 m (vlevo nahoře) a sekci IV s 30 chodbami délky 727 m (vlevo dole), viz Obr.40. Mezi krajními chodbami sekcí I a II a sekcí III a IV je vzdálenost 60 m, mezi nejbližšími krajními body sekce I a IV 913,5 m a mezi nejbližšími horními krajními body sekce II a III 942,4 m. Rozteče mezi tunely jsou 25,5 m a mezi UOS: EDU 5,5 m, ETE 7,5 m a NJZ 12,5 m.



Obr.40 Dispoziční řešení lokality Čihadlo, vertikální ukládání, ražba TBM, [22], příloha dispozičního řešení D1

Uvedené dispoziční řešení bylo pro teplotní výpočet rozděleno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.41. Umístění jednotlivých typů UOS do zavázečních chodeb vychází z návrhu zavážení HÚ v [22] - příloha dispozičního řešení D1. Nejdříve je zaplněno 19 zavázečních chodeb sekce I UOS EDU, poté zbylých 5 chodeb této sekce UOS ETE. Do sekce II je nejdříve zavezeno 10 zavázečních chodeb zbylými UOS ETE a poté 19 zavázečních chodeb zaplňují UOS NJZ. Poslední je zaplněna sekce III v níž je 23 chodeb zavezeno zbylými UOS NJZ. Vždy jsou uvažovány zavázeční chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS vzhůru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ.

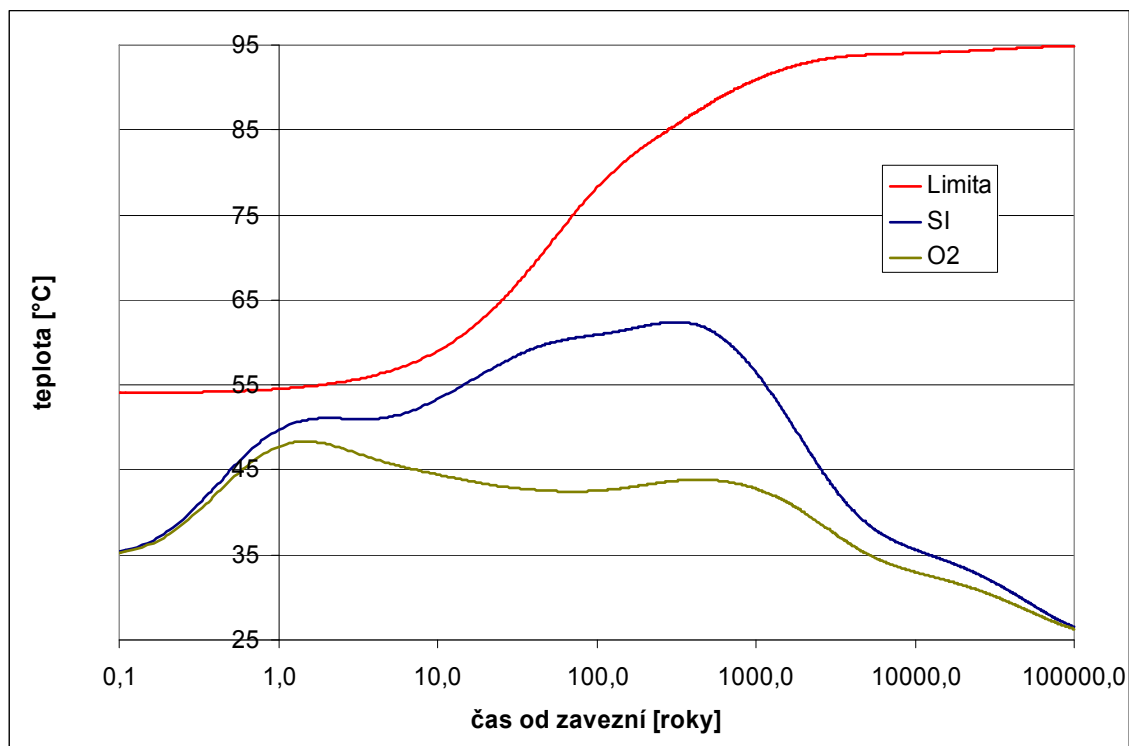
Počítány byly středové pozice všech tří zavezených sekcí a vybrané rohové pozice, viz Obr.41. Průběhy teplot jsou pro jednotlivé typy UOS a tedy různé limitní teploty HB v grafech na Obr.42 až Obr.44.



Obr.41 Geometrie teplotního výpočtu lokality Čihadlo, vertikální ukládání, ražba TBM

UOS EDU bylo zaváženo pouze do sekce I. V této oblasti byly sledovány teploty na dvou zajímavých pozicích: středové SI (jedná se o střed celé Sekce I) a rohové O2. Středová pozice slouží jako příklad místa s očekávanými nejvyššími teplotami, rohová pak naopak s nízkými. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB na okraji vývrtu pro UOS EDU v grafu na Obr.42. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty má středová pozice SI. Maximální teploty 62,4 °C je zde dosaženo v čase cca 315 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik již 41,9 °C. Nejmenší rezerva do limity 3,9 °C nastává u středové pozice v čase 1,7 roku po zavezení.



Obr.42 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM

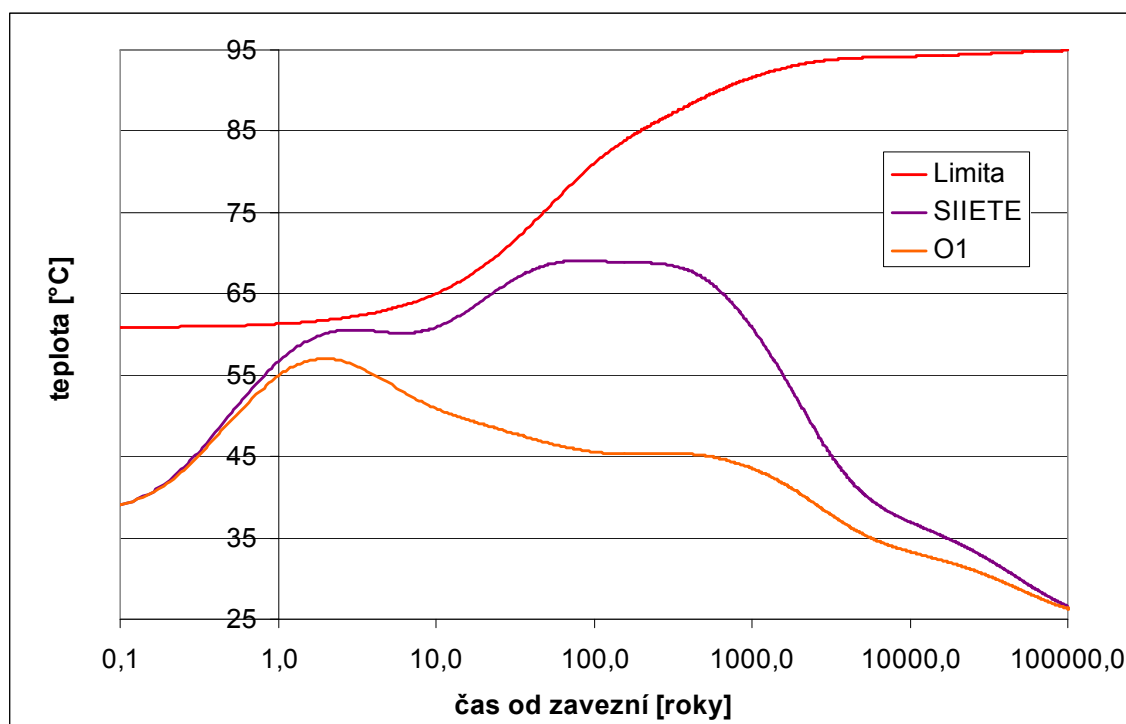


Teploty na rohové pozici O2 jsou nižší. Maximální teplota 48,4 °C je zde dosažena již v čase 1,5 roku po zavezení a rezerva k limitní teplotě je pak 6,5 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá, s výjimkou drobného nárůstu o cca 1,5 °C v období 75 až 440 let. Nejnižší rezerva k limitní teplotě je v čase 1,3 roku od zavezení a činí cca 6,4 °C.

UOS ETE bylo zaváženo do částí sekce I a sekce II. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na dvou zajímavých pozicích: rohové O1 a středové označené SII ETE, která je ve středu části zavážené UOS ETE. Tato pozice slouží jako příklad místa s očekávanými nejvyššími teplotami, rohová pak naopak s nízkými. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.43. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavážené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SII ETE. Maximální teploty 69,1 °C je zde dosaženo v čase 85 let po zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 34 °C. Nejmenší rezerva do limity 1,4 °C nastává u středové pozice SII ETE v čase 2,4 roku po zavezení HÚ.

Teploty na rohové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 57 °C zde nastává již v čase 2 roky po zavezení a rezerva k limitní teplotě je 4,7 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá, s výjimkou drobného nárůstu o cca 0,1 °C v období 160 až 310 let. Nejnižší rezerva k limitní teplotě nastává v čase 1,8 roku od zavezení a je cca 4,6 °C.



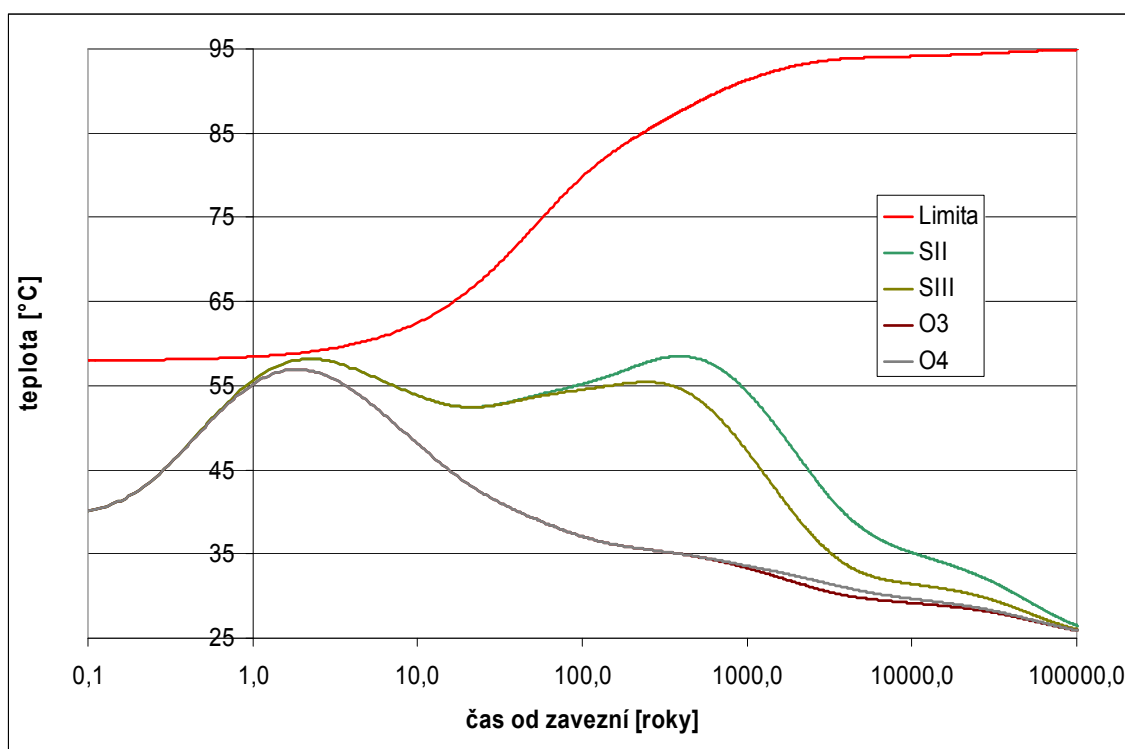
Obr.43 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM

UOS NJZ bylo zaváženo do části sekce II a sekce III. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na čtyřech pozicích: středové označené SII a SIII, které vždy představují středy uvedených sekcí, a rohové O3 a O4. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.44. Z křivek je patrné, že v žádném časovém

okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SII, teplota je zde 58,5 °C v cca 390 letech od zavezení HÚ. Rezerva do limitní teploty je v tomto případě 29 °C. Jen o málo nižší je na této pozici maximum 58,2 °C objevující se ve 2,2 let po zavezení, přičemž rezerva je zde 0,9 °C. Průběh teploty na středové pozici SIII je v počátečních fázích téměř totožný a se stejným maximum v době 2,2 roky po zavezení. Druhý pík teploty nastává v roce 240 po zavezení a dosahuje pouze hodnoty 55,4 °C s rezervou do limity v této době 29,8 °C.

Teploty na rohových pozicích O3 a O4 jsou si vzájemně velmi podobné a zejména v pozdějších dobách jsou oproti středovým pozicím výrazně nižší. Maximální teplota 57 °C zde nastává již v čase 1,8 roku po zavezení a rezerva k limitní teplotě je 1,9 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá.



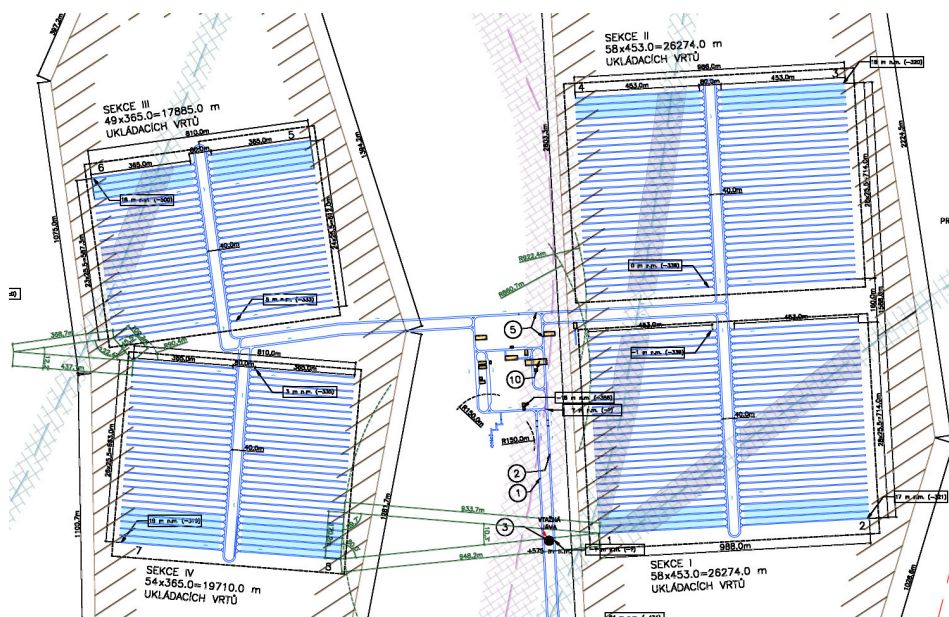
Obr.44 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM

Vertikální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení podle [22], příloha dispoziční řešení D2, rozděluje HÚ do čtyř sekcí, která je každá ještě dělena prostorem o šíři 80 m: sekci I s 2x29 zavážecími chodbami délky 453 m (vpravo dole), sekci II s 2x29 zavážecími chodbami délky 453 m (vpravo nahoře), sekci III s 24+25 zavážecími chodbami délky 365 m (vlevo nahoře) a sekci IV s 2x27 zavážecími chodbami délky 365 m (vlevo dole), viz Obr.45. Rozteče mezi tunely jsou 25,5 m a mezi UOS: EDU 5,5 m, ETE 7,5 m a NJZ 12,5 m.

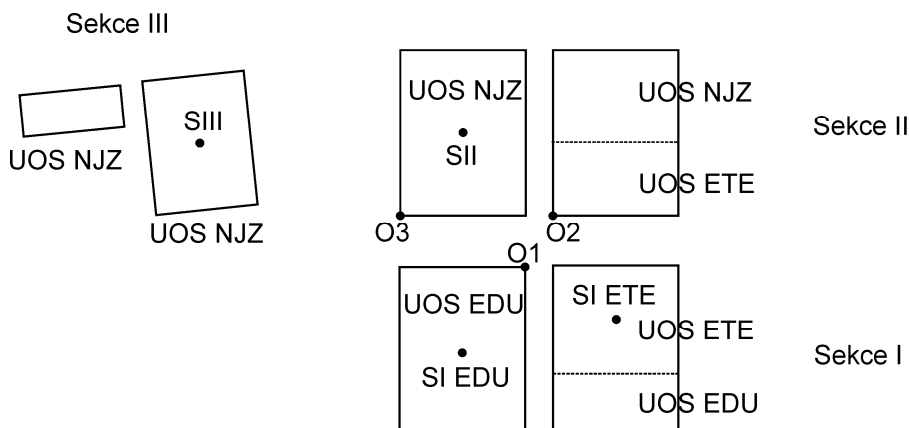
Uvedené dispoziční řešení bylo pro teplotní výpočet rozděleno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.46. Umístění jednotlivých typů UOS do ukládacích chodeb vychází z návrhu

zavážení HÚ v [22] - příloha dispoziční řešení D2. Nejdříve je UOS EDU zaplněno všech 29 zavážecích chodeb levé části Sekce I, poté 10 chodeb této sekce v pravé straně. Zbýlých 19 chodeb pravé strany sekce I je zavezeno UOS ETE. Do sekce II pravé části je nejdříve zavezeno 12 zavážecích chodeb zbylými UOS ETE a poté 17 zavážecích chodeb doplňují UOS NJZ. 29 zavážecích chodeb levé strany sekce II je zaplněno UOS NJZ. Poslední je naplněna sekce III v níž je 25 chodeb pravé části kompletně zavezeno UOS NJZ a zbylé jsou pak zaváženy do 11 zavážecích chodeb levé části sekce III. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS vzhůru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení, která vede ke konzervativním výsledkům, není ani v tomto případě HÚ zaplněno celé a zůstává např. zcela nevyužitá sekce IV.



Obr.45 Dispoziční řešení lokality Čihadlo, vertikální ukládání, konvenční ražba [22], příloha dispoziční řešení D2

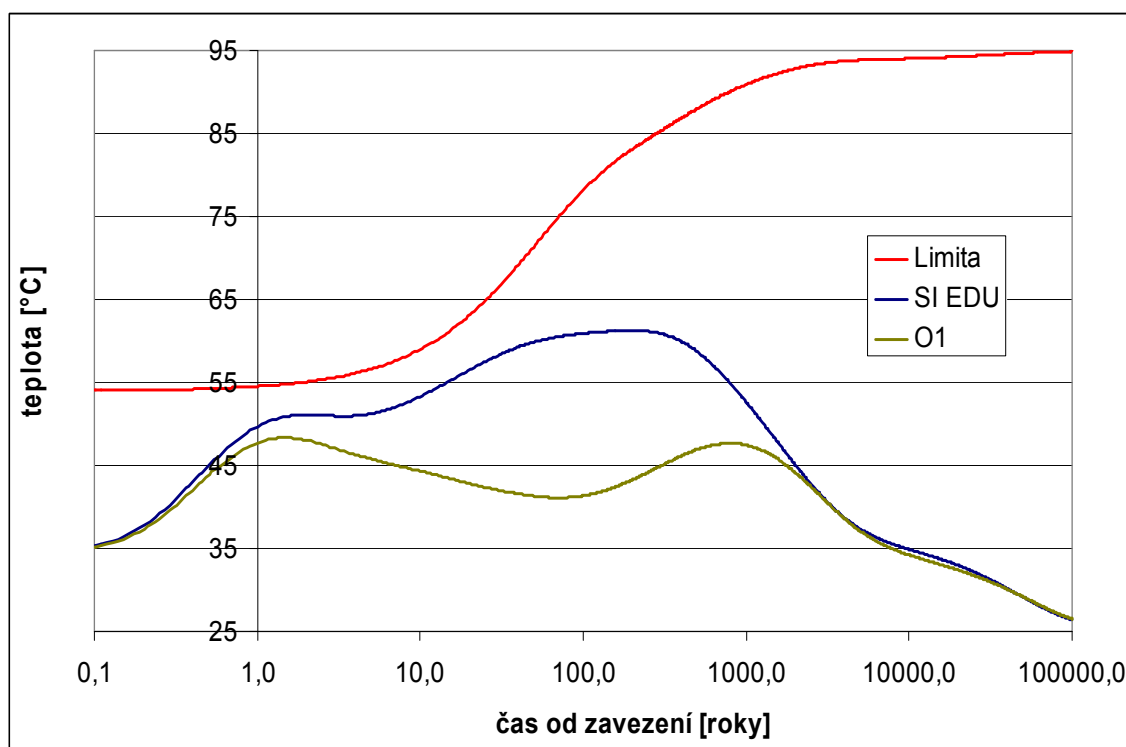
Počítány byly průběhy teplot vybraných středových pozic ze všech tří zavezených sekcí a vybrané rohové pozice, viz Obr.46. Průběhy teplot jsou pro jednotlivé typy UOS a tedy různé limitní teploty HB v grafech na Obr.47 až Obr.49.



Obr.46 Geometrie teplotního výpočtu lokality Čihadlo, vertikální ukládání, konvenční ražba

UOS EDU byly zaváženy pouze do sekce I. Byly sledovány teploty na dvou zajímavých pozicích: středové SI EDU (jedná se o střed levé části Sekce I) a rohové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.47. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SI EDU. Maximální teploty 61,2 °C je zde dosaženo v čase cca 200 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik již 21,7 °C. Nejmenší rezerva do limity 3,9 °C nastává u středové pozice v čase 1,6 roku po zavezení.



Obr.47 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba

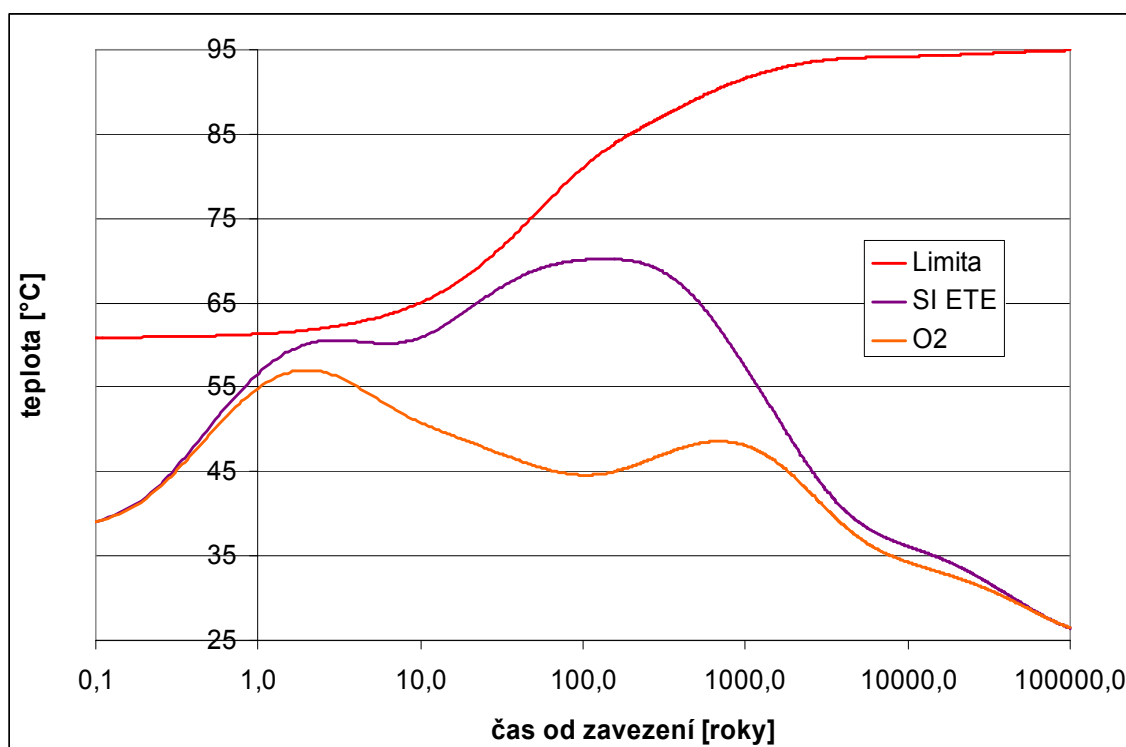
Teploty na rohové pozici O1 jsou obecně nižší avšak se dvěma téměř stejnými píky. První nastává v době 1,4 roku po zavezení a teplota v něm 48,3 °C. Je zde zároveň nejnižší rezerva do limitní teploty 6,3 °C. Ve druhém píku v době 800 let po zavezení dosahuje teplota 47,8 °C a rezerva k limitě je již 42,4 °C.

UOS ETE byly zaváženy do části pravé části sekce I a do části pravé části sekce II. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové označené SI ETE a rohové O2. Středová pozice je středem části sekce I se zavezenými UOS ETE. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE uvedeny v grafu na Obr.48. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SI ETE. Maximální teploty 70,2 °C je zde dosaženo v čase 140 let po zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik

13 °C. Nejmenší rezerva do limity 1,5 °C nastává u středové pozice SI ETE v čase 2,5 roku po zavezení HÚ.

Teploty na rohové pozici O2 jsou nižší. Maximální teplota 57 °C zde nastává již v čase 2 roky po zavezení a rezerva k limitní teplotě je 4,7 °C. Od této chvíle teplota klesá do období 100 let od zavezení na hodnotu 44,6 °C. Poté začíná opět mírně růst až na hodnotu 48,6 °C v době 700 let od zavezení. Poté je již patrný celkový pokles teplot v HÚ.

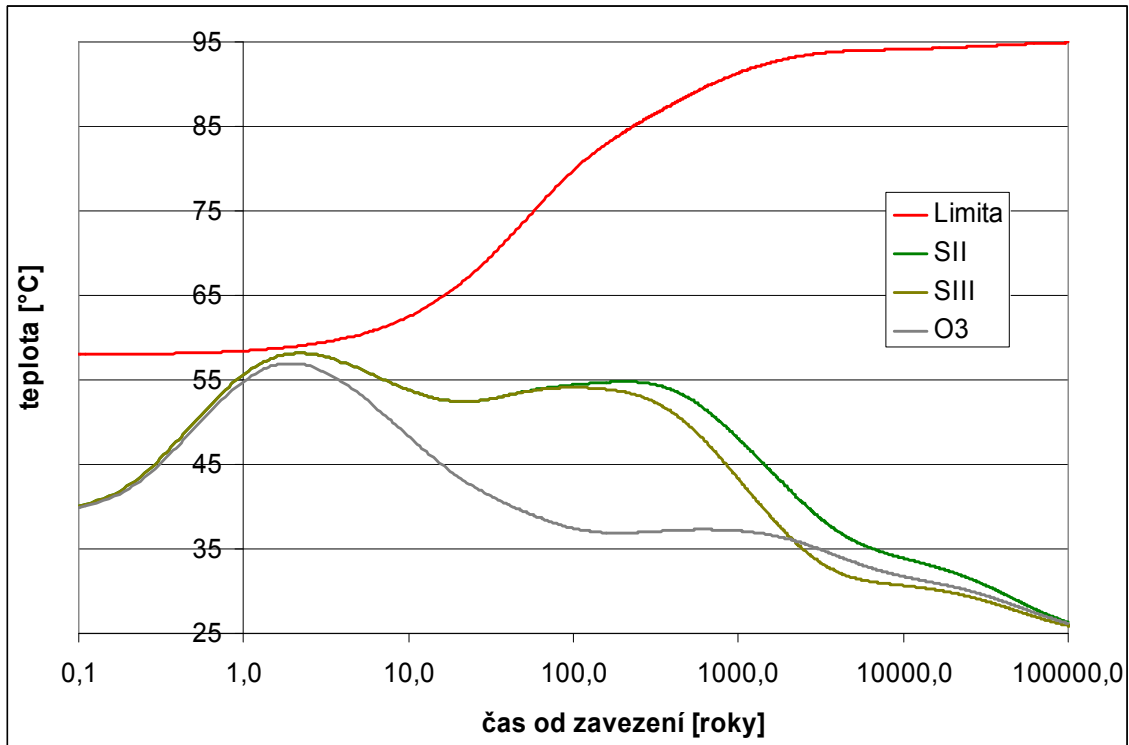


Obr.48 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba

UOS NJZ bylo zaváženo do části sekce II a vzdálenější sekce III. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na třech pozicích: dvě středové označené SII a SIII a rohové O3. U obou středových pozic jde vždy o středy částí sekcí II resp. III. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.49. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středových pozicích. Až do doby cca 100 let od zavezení jsou téměř totožné s maximem 58,2 °C v roce 2,2 od zavezení HÚ. Rezerva do limitní teploty je v tomto případě 0,9 °C. Poté teploty mírně klesají až do doby 22 roků a následuje růst do doby 100 let (pozice SIII) resp. 200 let (pozice SII). Teploty zde již nepřekročí 54,8 °C.

Průběh teploty na rohové pozici O3 má maximum 56,9 °C v čase 1,8 roků po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 1,9 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá. V období od 2150 let po zavezení je mírně vyšší než středová teplota vzdálené a malé Sekce III.



Obr.49 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba

Horizontální ukládání, ražba TBM

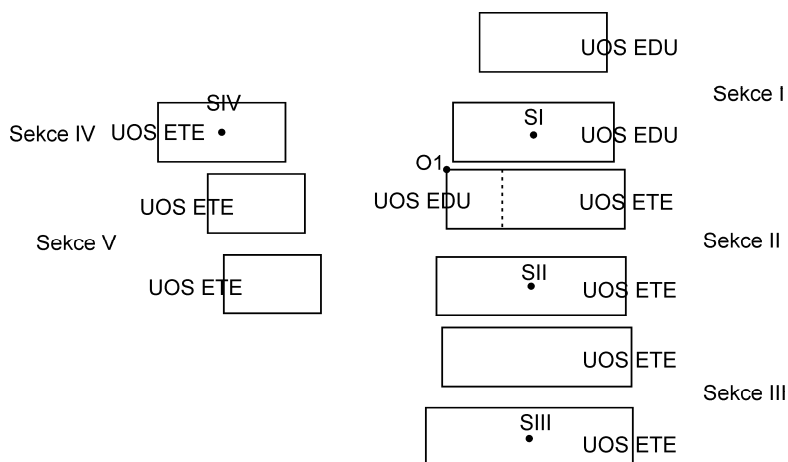
Dispoziční řešení podle [22], příloha dispoziční řešení D3, rozděluje HÚ do celkem šesti sekcí. Ukládací vrty mají ve všech sekcích jednotnou rozteč 30,7 m a délku 284,5 m a vejde se do nich 40 UOS EDU s roztečí 7 m nebo 22 UOS ETE s roztečí 13 m. Většina ze sekcí je dělena prostorem o šíři 87,2 m s obslužnou chodbou na dvě další části s jednotlivými ukládacími vrty. Výjimkou je sekce IV (vlevo nahoře), která má pouze jednu část. Mezi částmi sekcí je prostor o šíři 40 m. Jednotlivé části sekcí mají rozdílný počet ukládacích vrtů. (Sekce I 64, Sekce II 79, Sekce III 80, Sekce IV 28, Sekce V 68 a Sekce VI 69).



Obr.50 Dispoziční řešení lokality Čihadlo, horizontální ukládání, ražba TBM, [22], příloha dispoziční řešení D3



Uvedené dispoziční řešení bylo pro teplotní výpočet rozděleno a zavedeno UOS podle schéma na Obr.51. Protože UOS NJZ nelze s původním výkonem 1221 W ukládat (limitní teplota je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno jeho uložení až po 71,5 letech skladování, kdy jeho tepelný výkon klesne na úroveň 1125 W, tj. UOS ETE. Jelikož geometrické konfigurace UOS NJZ a UOS ETE jsou stejné, jsou ve výpočtu proto uvažovány pouze typy UOS: UOS EDU (celkem 3100 ks) a UOS ETE (4500 ks).



Obr.51 Geometrie teplotního výpočtu lokality Čihadlo, horizontální ukládání, ražba TBM

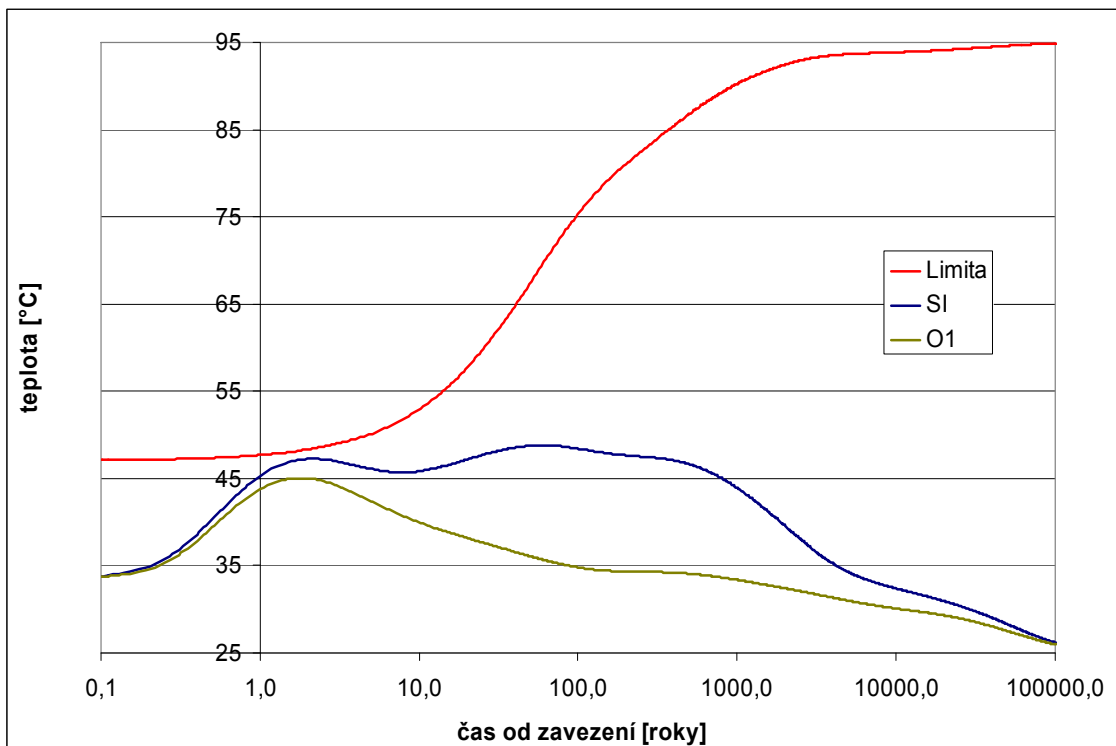
Umístění jednotlivých typů UOS do ukládacích chodeb vychází z návrhu zavážení HÚ v [22] - příloha dispoziční řešení D3. Nejdříve je UOS EDU zaplněna celá sekce I a poté 14 ukládacích vrtů sekce II v centrální části. Zbýlých 25 vrtů vzdálenější části je zavedeno UOS ETE. Zbylé části HÚ jsou již zavedeny pouze UOS ETE. Vždy jsou uvažovány ukládací vrty zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS vzhůru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení, která vede ke konzervativním výsledkům, není ani v tomto případě HÚ zaplněno celé a zůstává např. zcela nevyužitá sekce VI a část sekce V.

Počítány byly průběhy teplot vybraných středových pozic a vybraná rohové pozice, poloha pozic a jejich značení je patrné z Obr.51. Průběhy teplot jsou pro jednotlivé typy UOS a tedy různé limitní teploty HB v grafech Obr.52 a Obr.53.

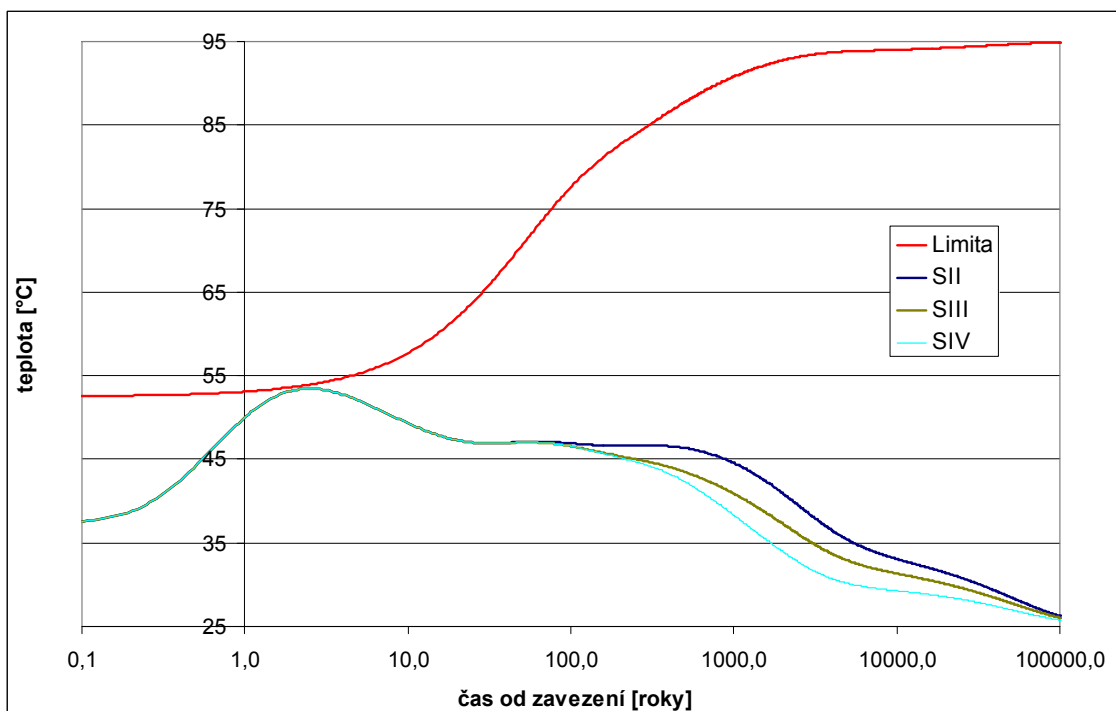
UOS EDU byly zaváženy do sekce I a menší části sekce II. Byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SI, kde je možno očekávat nejvyšší teploty u UOS tohoto typu a rohové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.52. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavedené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SI. Maximální teplota 48,8 °C je zde dosažena v čase 60 let od zavedení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tomto okamžik již 21,1 °C. Nejmenší rezerva 1 °C do limitní teploty nastává u středové pozice v čase 1,7 roku po zavedení, kdy má okraj vývrtu teplotu 47,2 °C.

Teploty na rohové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 45,1 °C nastává 1,7 roku po zavedení a poté se již pouze snižuje. Nejmenší rezerva k limitní teplotě je na této pozici 3 °C.



Obr.52 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM



Obr.53 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM

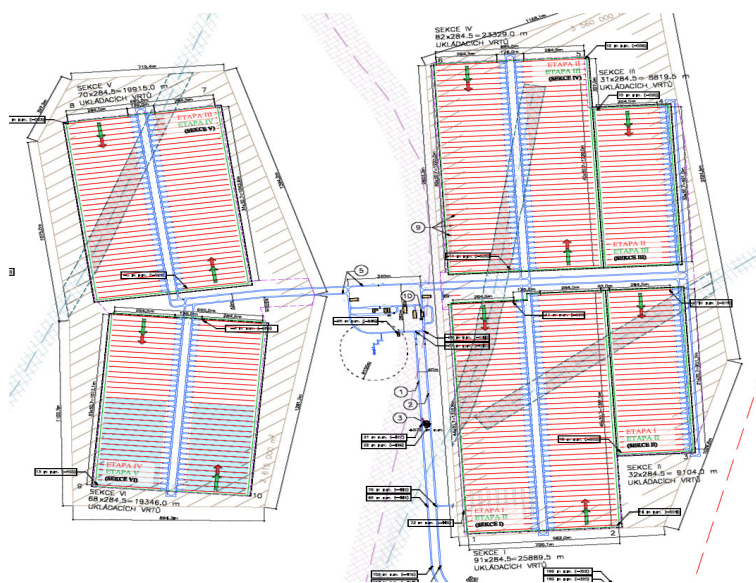
Všechny ostatní UOS jsou typu UOS ETE (zdůvodnění viz výše). Byly sledovány teploty na třech středových pozicích SII, SIII a SIV. Jde vždy o středy zcela zaplněných částí sekcí II, III a IV, takže zvolené pozice dostatečně vypovídají o maximálních teplotách v těchto

oblastech. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.53. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Až do období cca 100 let od zavezení jsou na teploty na sledovaných pozicích téměř totožné. Nejvyšší teplota je vždy dosažena v krátkém čase 2,5 roku po zavezení. Teplota dosáhne hodnoty 54,5 °C, což dává rezervu 0,5 °C do limitní teploty. Nejmenší rezerva do limity nastává na této pozici již 2,1 roku po zavezení HÚ je 0,34°C. Po cca 100 letech od zavezení lze již teploty jednotlivých pozicích rozlišovat. Vyšší teploty si nejdéle drží pozice SII, rychleji klesají teploty na pozici SIII a nejnižší teploty má pozice SIV nejvzdálenější sekce IV.

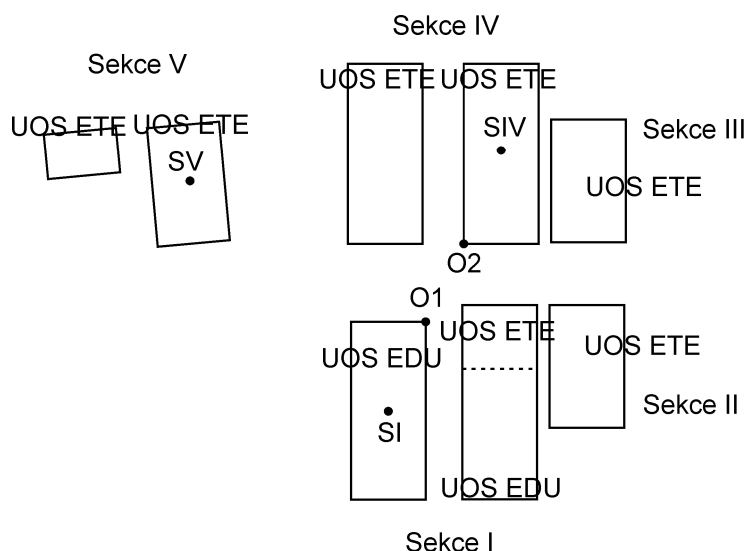
Horizontální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení podle [22], příloha dispozičního řešení D4, rozděluje HÚ do celkem šesti sekcí. Ukládací vrty ve všech sekcích mají jednotnou rozteč 30,7 m délku 284,5 m a vejde se do nich 40 UOS EDU s roztečí 7 m nebo 22 UOS ETE s roztečí 13 m. S výjimkou sekcí II a III (v pravé části Obr.54), které děleny nejsou, jsou sekce děleny prostorem o šíři 126 m s chodbami na dvě další části s jednotlivými ukládacími vrty. Mezi sekcemi I a II a sekcemi III a IV je prostor o šíři 40 m. Jednotlivé části sekcí mají rozdílný počet ukládacích vrtů (Sekce I 91, Sekce II 32, Sekce III 31, Sekce IV 82, Sekce V 70 a Sekce VI 68). Dispoziční řešení je patrné z Obr.54.



Obr.54 Dispoziční řešení lokality Čihadlo, horizontální ukládání, konvenční ražba, [22], příloha dispozičního řešení D4

Uvedené dispoziční řešení bylo pro teplotní výpočet rozděleno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.55. Protože UOS NJZ nelze s původním výkonem 1221 W ukládat (limitní teplota je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno jeho uložení až po 71,5 letech skladování, kdy jeho tepelný výkon klesne na úroveň 1125 W, tj. UOS ETE. Jelikož geometrické konfigurace UOS NJZ a UOS ETE jsou stejné, jsou ve výpočtu uvažovány pouze typy UOS: UOS EDU (celkem 3100 ks) a UOS ETE (4500 ks).



Obr.55 Geometrie teplotního výpočtu lokality Čihadlo, horizontální ukládání, konvenční ražba

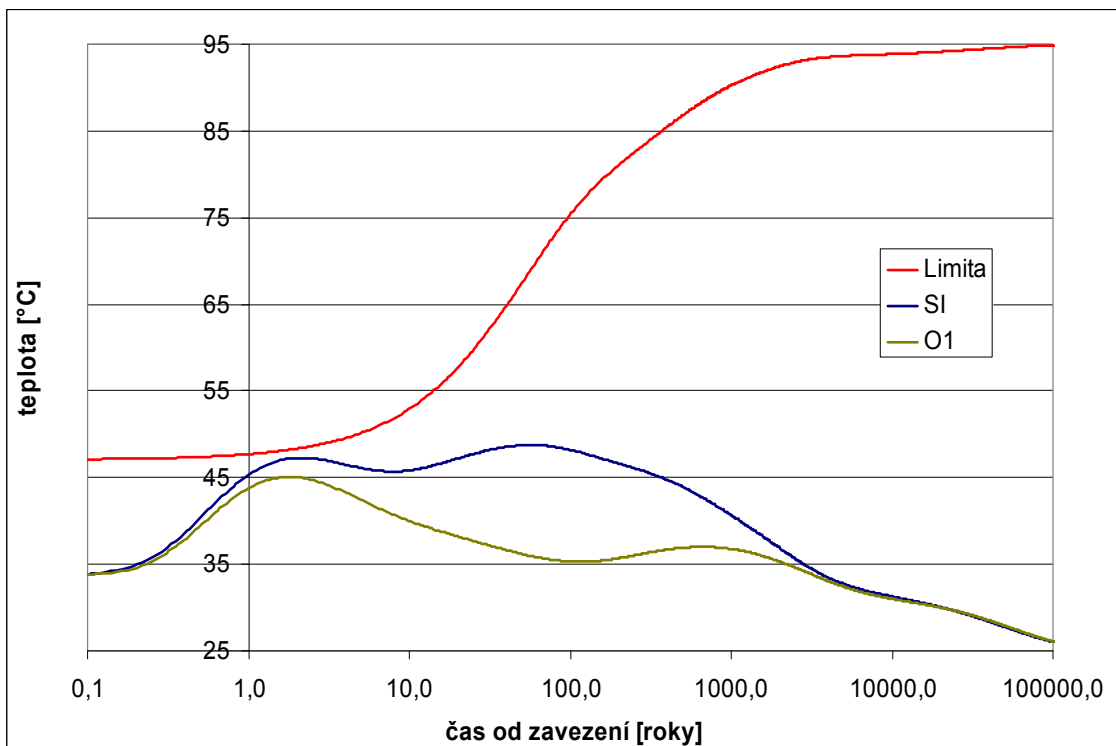
Umístění jednotlivých typů UOS do ukládacích vrtů vychází z návrhu zavážení HÚ v [22] - příloha dispoziční řešení D4. Nejdříve je UOS EDU zaplněna celá levá sekce I a poté 33 ukládacích vrtů pravé části sekce II od vnějšího okraje HÚ. Zbýlých 13 vrtů centrální části sekce I je zavezeno UOS ETE. Zbýlé části HÚ jsou již zavezeny pouze UOS ETE. Vždy jsou uvažovány zavážecí vrty zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS vzhůru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení, která vede ke konzervativním výsledkům, není ani v tomto případě HÚ zaplněno celé a zůstává např. zcela nevyužitá sekce VI a sekce V je zaplněnou pouze z části.

Počítány byly průběhy teplot tří vybraných středových pozic a dvě rohové pozice. Poloha pozic a jejich značení je patrné z Obr.55. Průběhy teplot jsou pro jednotlivé typy UOS a tedy různé limitní teploty HB v grafech na Obr.56 a Obr.57.

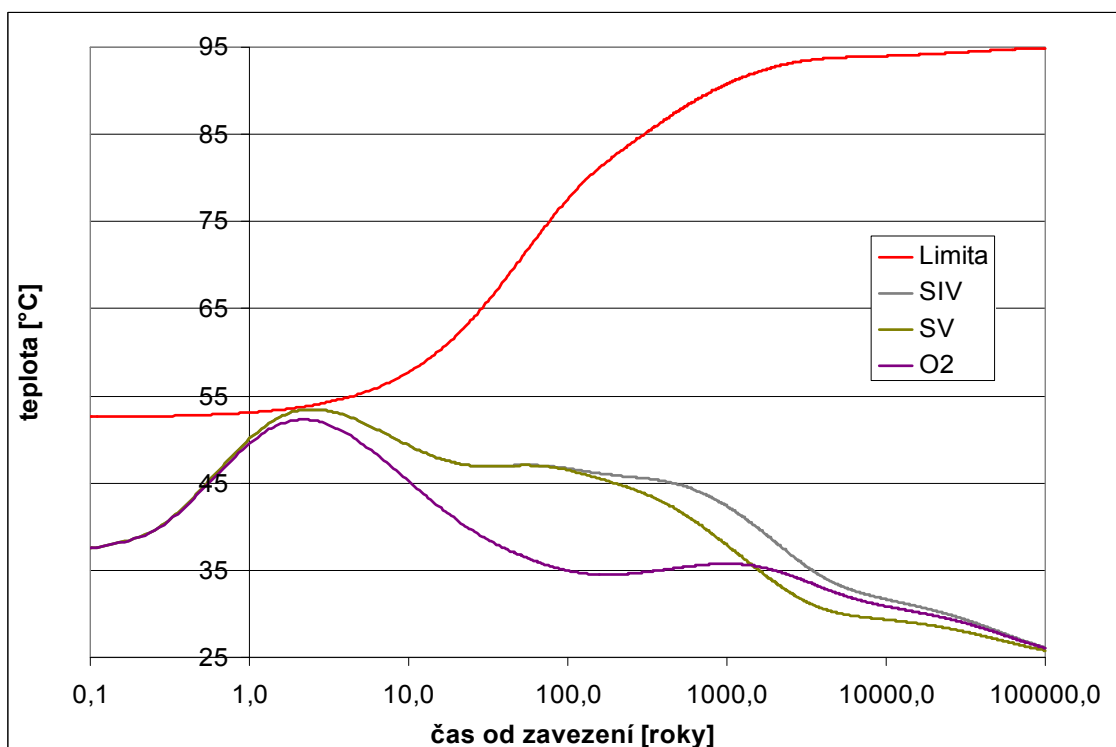
UOS EDU byly zaváženy pouze do sekce I. Byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SI levého bloku sekce I a rohové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.56. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty jsou podle očekávání dosahovány na středové pozici SI. Maximální teplota 48,8 °C je zde dosažena v čase 56 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 20 °C. Nejmenší rezerva 1 °C do limitní teploty nastává u středové pozice v čase 1,7 roku po zavezení, kdy má okraj vývrtu teplotu 47,2 °C.

Teploty na rohové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 45,1 °C nastává 1,7 roku po zavezení a poté se již pouze snižuje. Nejmenší rezerva k limitní teplotě je na této pozici 3 °C.



Obr.56 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS EDU – horizontální ukládání, konvenční ražba



Obr.57 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čihadlo pro UOS ETE – horizontální ukládání, konvenční ražba

Všechny ostatní UOS jsou typu UOS ETE (zdůvodnění viz výše). Byly sledovány teploty na dvou středových pozicích SIV a SV a rohové O2. V případě středových pozic jde vždy

o středy zcela zaplněných částí sekcí IV a V, rohová pozice byla vybrána, protože jde o centrální část celého HÚ. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.57. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

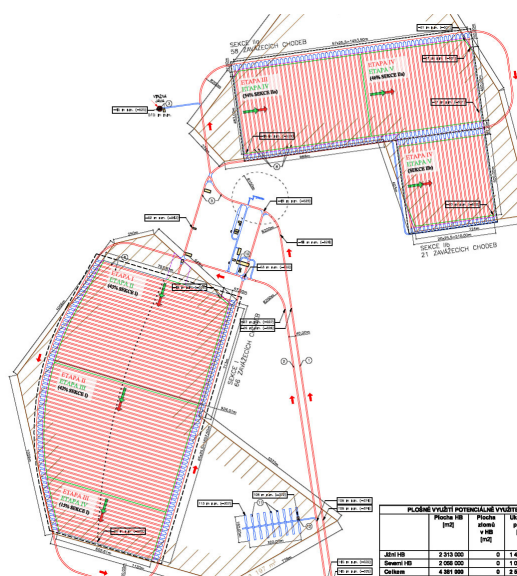
Až do období cca 100 let od zavezení jsou teploty na středových pozicích téměř totožné. Nejvyšší teplota 53,5 °C je dosažena v čase 2,5 roku po zavezení. Rezerva do limitní teploty je v tomto okamžiku 0,5 °C. Nejmenší rezerva do limity nastává na těchto pozicích již 2 roky po zavezení HÚ. Po cca 100 letech od zavezení lze již teploty jednotlivých pozic rozlišovat. Rychleji klesá teplota na pozici SV, protože se jedná o menší a vzdálenější blok od ostatních.

Rohová pozice má celkově teploty nižší. Maximum je zde dosaženo v čase 2,2 roku po zavezení a teplota je při něm 52,3 °C a rezerva k limitě 1,5 °C. Nejnižší rezerva k limitní teplotě nastává na této pozici 1,9 roku po zavezení a je 1,4 °C.

4.3.3 Lokalita č. 3 – Horka

Vertikální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení podle [24], příloha dispozičního řešení D1, rozděluje HÚ do dvou sekcí s dalším dělením sekce II na části a) a b). Sekce I obsahuje 66 zavázacích chodeb velmi nepravidelné délky. Sekce IIa má 58 zavázacích chodeb, většinu délky 510 m, a sekce IIb 21 chodeb o délce 500 m. Zavázací chodby mají všude jednotnou rozteč 25,5 m a rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 8,7 m, UOS ETE 8 m a UOS NJZ 13,5 m. Obě sekce jsou od sebe vzdáleny nejméně 750 m (konzervativně zaokrouhloveno směrem dolů) a jsou navzájem pootočený o úhel cca 80°. Dispoziční řešení je patrné z Obr.58.

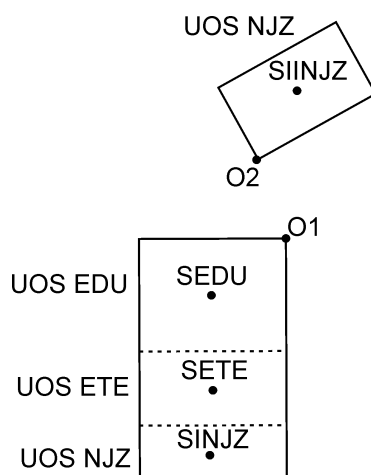


Obr.58 Dispoziční řešení lokality Horka, vertikální ukládání, ražba TBM, [24], příloha dispozičního řešení D1

Uvedené dispoziční řešení bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.59. Zjednodušení bylo provedeno zejména s ohledem na nelineárně

proměnnou délku zavážecích chodeb sekce I, což by vedlo ve výpočetním modelu ke komplikacím. Sekce I byla proto aproximována obdélníkem se 66 zavážecími chodbami s jednotnou délkou 840 m, která byla určena z celkové délky chodeb sekce I 55411 m (viz [24]). Do chodby této délky lze umístit: 96 UOS EDU, 104 UOS ETE a 62 UOS NJZ. Sekce I byla poté na základě počtů UOS jednotlivých typů zavezena: 33 zavážecích chodeb UOS EDU, 18 zavážecích chodeb UOS ETE a 15 zavážecích chodeb UOS NJZ. Zbýlých 1770 UOS NJZ je zavezeno v sekci IIa, takže je v ní osazeno 48 zavážecích chodeb. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení, která vede ke konzervativním výsledkům, není v tomto případě HÚ zaplněno celé a zůstává zcela nevyužitá sekce IIb a sekce IIa je zaplněna pouze z části.

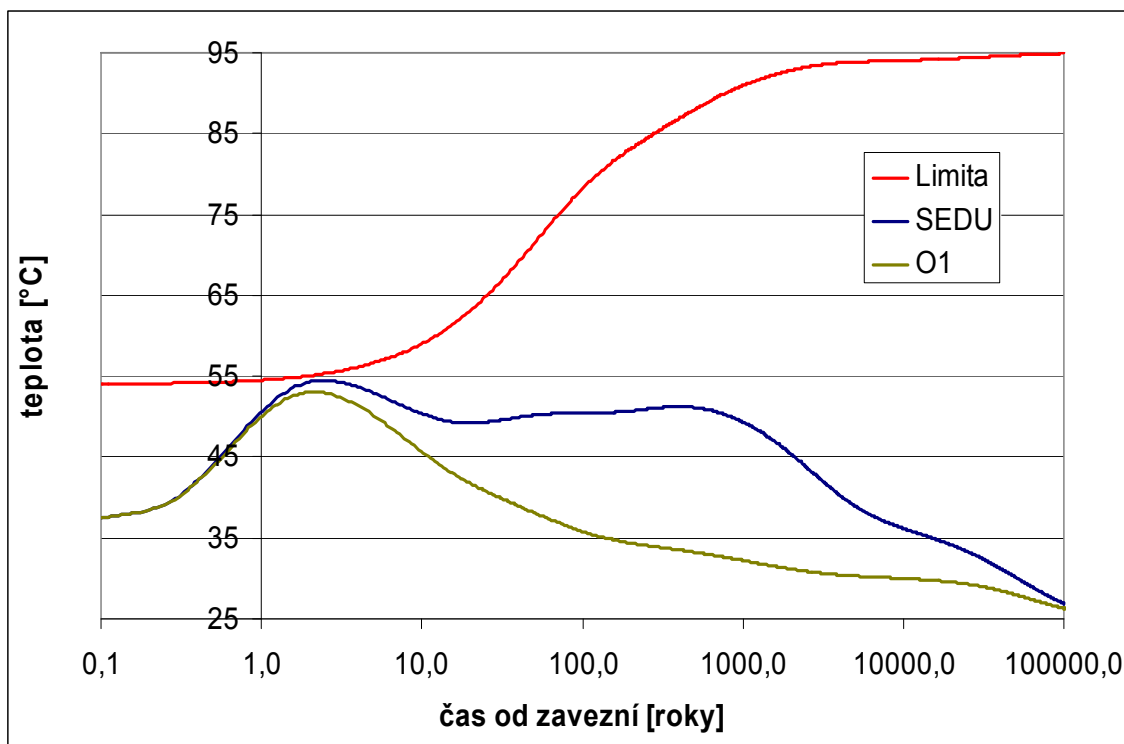
Protože UOS ETE ani UOS NJZ nelze s původními výkony ukládat (limitní teplota je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno jejich uložení až po 75 letech skladování, kdy jejich tepelný výkon klesne na úroveň cca 988 W u UOS ETE a 1071 W u UOS NJZ.



Obr.59 Geometrie teplotního výpočtu lokality Horka, vertikální ukládání, ražba TBM

Počítány byly průběhy teplot čtyř vybraných středových pozic a dvě rohové pozice. Poloha pozic a jejich značení je patrné z Obr.59. Průběhy teplot jsou pro jednotlivé typy UOS a tedy různé limitní teploty HB v grafech na Obr.60 až Obr.62.

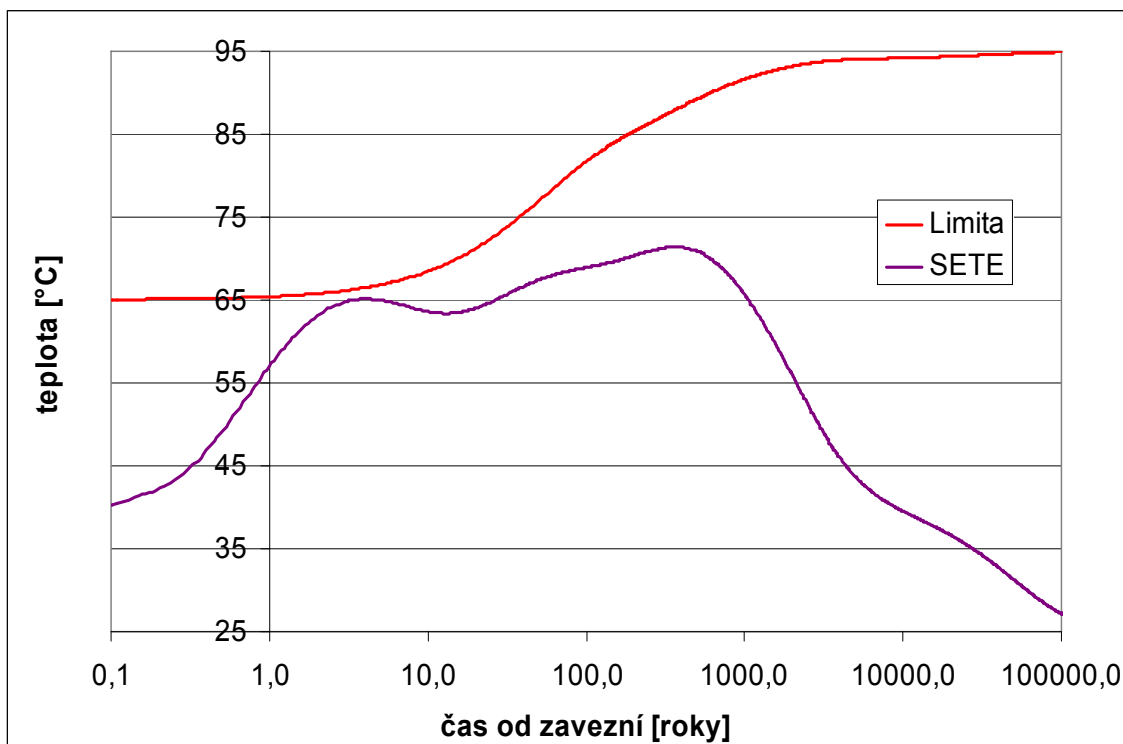
UOS EDU byly zaváženy do okrajové části sekce I. Byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SEDU (pro oblast zavezenou UOS EDU) a rohové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.60. Z průběhu křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.



Obr.60 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM

Nejvyšší teploty jsou podle očekávání dosahovány na středové pozici SEDU. Maximální teplota 54,5 °C je zde dosažena v čase 2,5 roků od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 0,9 °C. Nejmenší rezerva 0,8 °C do limitní teploty nastává u středové pozice o chvíli dříve v čase 2,1 roku po zavezení, kdy má okraj vývrtu teplotu 54,3 °C. Teploty středové pozice SEDU se poté drží poměrně dlouhou doby na hodnotách okolo 50 °C a pod tuto teplotu začínají klesat až cca 1100 let od zavezení.

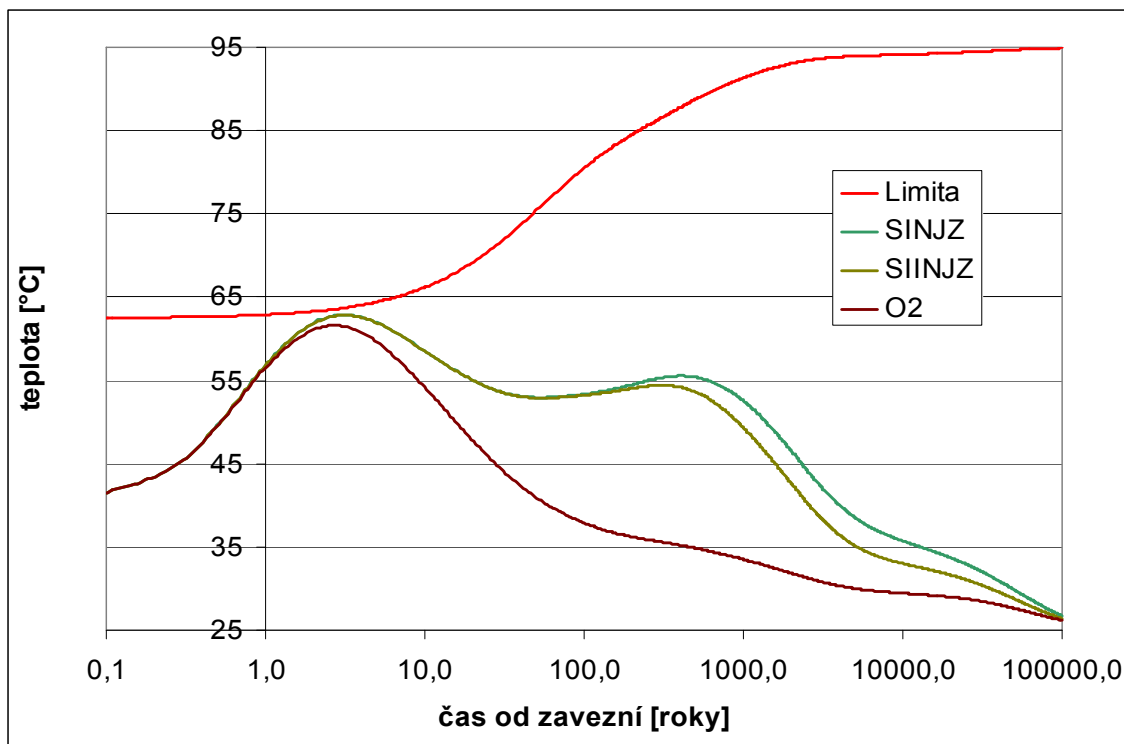
Teploty na rohové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 53 °C nastává 2,2 roku po zavezení a poté se již pouze snižuje. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 2,1 °C. Nejmenší rezerva k limitní teplotě je na pozici O1 2 °C a to v době 1,9 roku po zavezení.



Obr.61 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM

UOS ETE byly zaváženy do střední části sekce I, což je důvodem k poměrně vysokým teplotám v této oblasti. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na jedné pozici SETE, která slouží jako příklad místa s maximální dosahovanou teplotou. Středová pozice je středem pouze části se zavezenými UOS ETE. Průběh teploty je spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE uveden v grafu na Obr.61. Z křivky je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teplota 71,4 °C je dosažena v čase 365 let po zavezení, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 16,5 °C. Nejmenší rezerva do limity 1,3 °C nastává na středové pozici SETE v čase 3,5 roku po zavezení HÚ.



Obr.62 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM

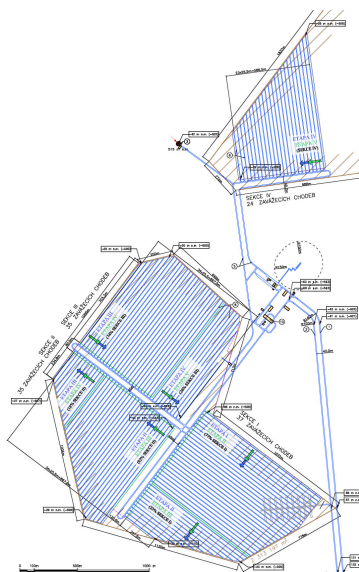
UOS NJZ byly umístěny do části sekce I a vzdálenější sekce II. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na třech pozicích: dvě středové označené SINJZ a SIINJZ a rohové O2. U středové pozice SINJZ jde o střed částí sekce I zavezené UOS NJZ. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.62. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středových pozicích. Až do doby cca 200 let od zavezení jsou teploty téměř totožné. Maximální teplota 62,8 °C je dosažena v čase 3,2 roku od zavezení. Rezerva do limitní teploty je v tomto případě 0,9 °C. Poté teploty do doby 55 let od zavezení mírně klesají k teplotě 52,9 °C a následuje růst do doby 300 až 400 let. Teploty zde již nepřekročí 55,6 °C. Minimální rezerva k limitní teplotě je na těchto pozicích dosažena 2,8 roku po zavezení a je 0,8 °C.

Průběh teploty na rohové pozici O2 má maximum 62,6 °C v čase 2,7 roku po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 0,8 °C. Od této chvíle teplota již pouze klesá.

Vertikální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení podle [24], příloha dispoziční řešení D2, rozděluje HÚ do čtyř sekcí ve dvou oddělených HB. Sekce I obsahuje 37 zavážecích chodeb nepravidelné délky, sekce II 35 zavážecích chodeb taktéž s nepravidelnou délkou. Poslední sekce III tohoto HB má 35 zavážecích chodeb pravidelnější délky cca 800 m. Sekce IV se nachází ve vzdálenějším HB a má 24 zavážecích chodeb. Zavážecí chodby mají všude jednotnou rozteč 25,5 m a rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 8,7 m, UOS ETE 8 m a UOS NJZ 13,5 m. Dispoziční řešení je patrné z Obr.63.

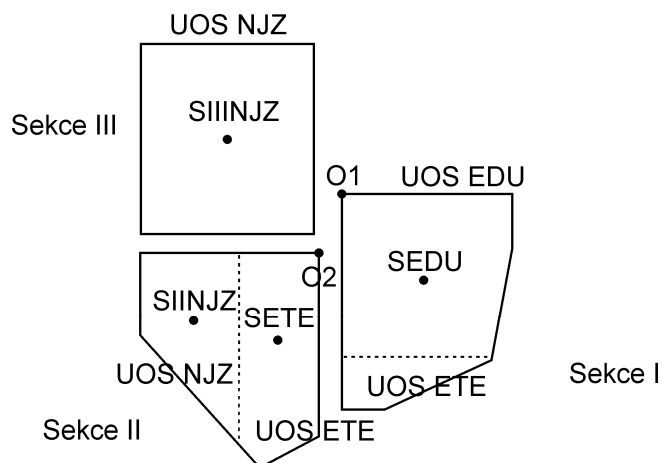


Obr.63 Dispoziční řešení lokality Horka, vertikální ukládání, konvenční ražba, [24], příloha dispoziční řešení D2

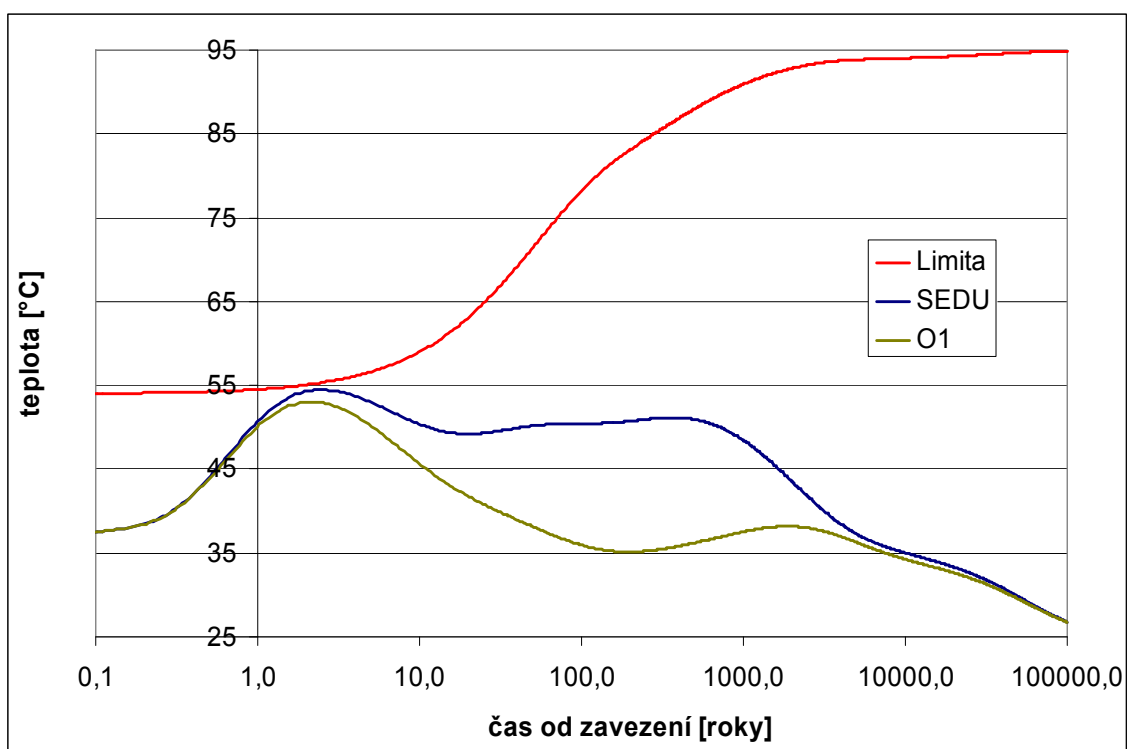
Dispoziční řešení z [24], příloha dispoziční řešení D2, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.64. Sekce I byla je z větší části (28 zavážecích chodeb) zavezena UOS EDU, zbylé chodby (9) jsou zavezeny UOS ETE. Ostatní UOS ETE se nachází v pravé části sekce II v 15 zavážecích chodbách. UOS NJZ jsou zavezeny do 20 zavážecích chodeb sekce II a poté do sekce III, kde zabírají 41 zavážecích chodeb. Jedna chodba sekce III a sekce IV nejsou využity. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ.

Protože UOS ETE ani UOS NJZ nelze s původními výkony ukládat (limitní teplota je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno jejich uložení až po 75 letech skladování, kdy jejich tepelný výkon klesne na úroveň cca 988 W UOS ETE a 1071 W UOS NJZ.

Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.64.



Obr.64 Geometrie teplotního výpočtu lokality Horka, vertikální ukládání, konvenční ražba



Obr. 65 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba

UOS EDU byly zaváženy do části sekce I. Byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SEDU (střed oblasti zavezené pouze UOS EDU) a rohové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.65. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

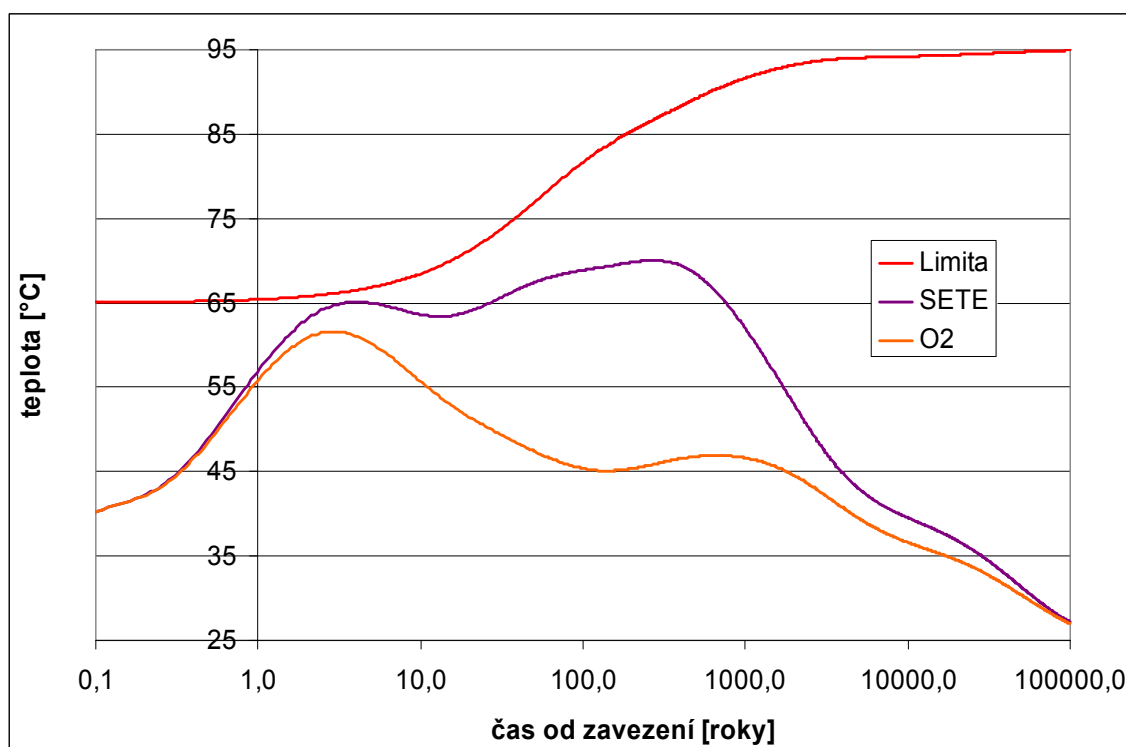
Nejvyšší teploty jsou samozřejmě dosahovány na středové pozici SEDU. Maximální teplota 54,5 °C je zde dosažena v čase 2,5 roků od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 0,9 °C. Nejmenší rezerva 0,8 °C do limitní teploty nastává u středové pozice o chvíli dříve v čase 2,1 roku po zavezení, kdy má pozice teplotu 54,3 °C. Teploty středové pozice SEDU se poté drží na hodnotách okolo 50 °C a pod tuto teplotu začínají klesat cca 750 let od zavezení.

Teploty na rohové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 53 °C nastává 2,1 roku po zavezení a poté se teploty již pouze snižují. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 2,1 °C. Nejmenší rezerva k limitní teplotě je na pozici O1 cca 2 °C a to v době 1,9 roku po zavezení.

UOS ETE byly zaváženy do střední části sekce I a části sekce II. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na středové pozici SETE, která slouží jako příklad místa s nejvyššími teplotami, a okrajová pozice O2. Středová pozice je středem pouze části se zavezenými UOS ETE a odpovídá geometrickému středu této plochy. Průběh teploty je spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE uveden v grafu na Obr.66. Z obou křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teplota pozice SETE je dosažena v čase 265 let po zavezení a má hodnotu 70 °C. Rezerva k limitní teplotě je v tento okamžik 16,6 °C. Nejmenší rezerva do limity 1,3 °C nastává na středové pozici SETE v čase 3,4 roku po zavezení HÚ.

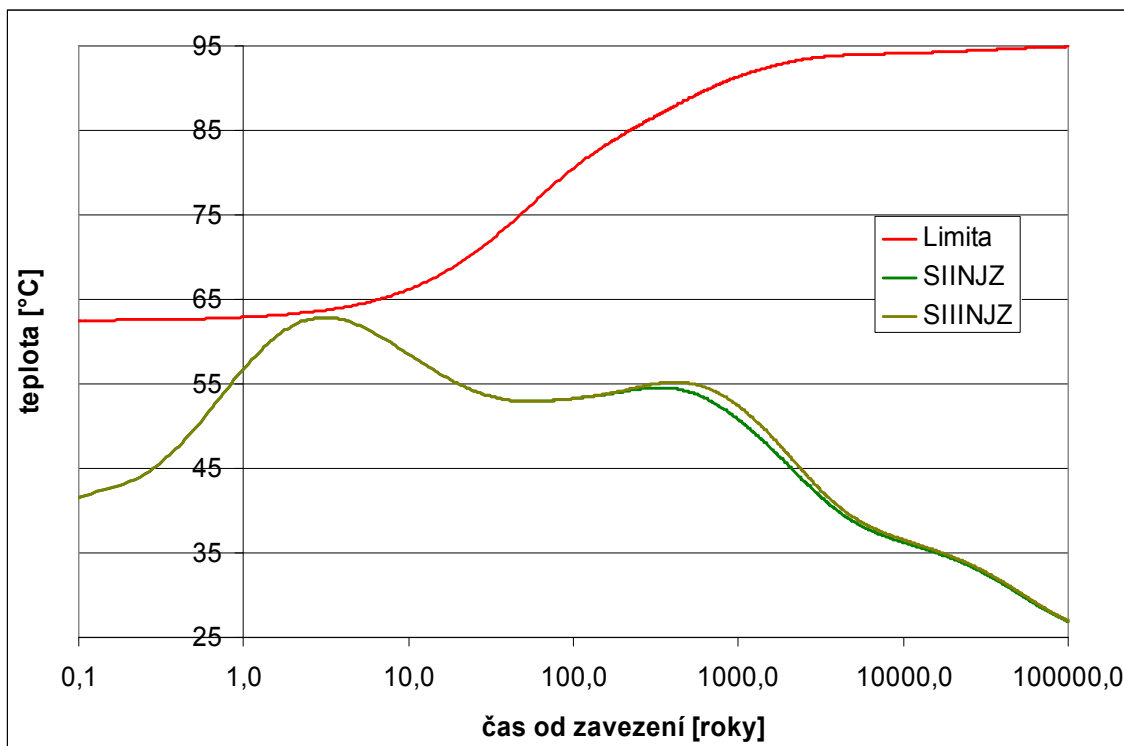
Průběh teploty na rohové pozici O2 má maximum 61,6 °C v čase 2,9 roků po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tento čas 4,5 °C. Od této chvíle teplota klesá s následným malým nárůstem v období okolo 650 let.



Obr.66 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba

UOS NJZ byly umístěny do části sekce II a zejména sekce III. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teploty na dvou středových pozicích, označených SIINJZ a SIIINJZ. U středové pozice SIINJZ jde o střed částí sekce II zavezené pouze UOS NJZ. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.67. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

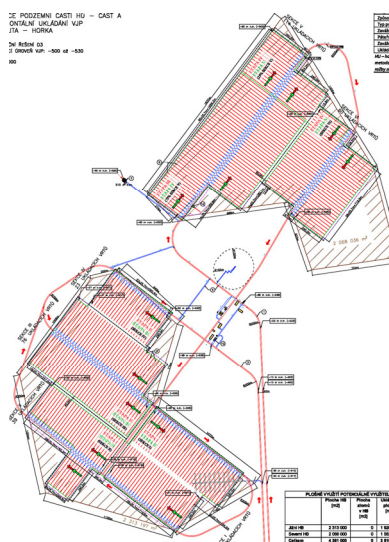
Průběhy a dosahované velikosti teplot na sledovaných pozicích jsou téměř totožné. Maximální teplota 62,9 °C je dosažena v čase 3,2 roků od zavezení a rezerva do limitní teploty je v tomto případě 0,85 °C. Minimální rezerva k limitní teplotě je na obou pozicích dosažena 2,8 roků po zavezení a je 0,8 °C.



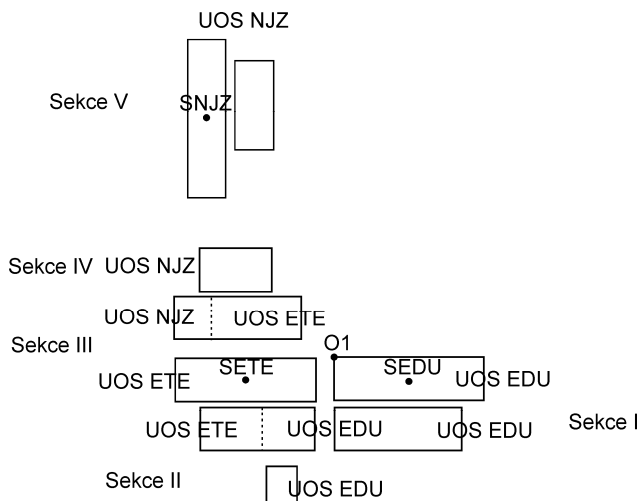
Obr.67 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba

Horizontální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení podle [24], příloha dispoziční řešení D3, rozděluje HÚ do šesti sekcí ve dvou oddělených HB. Ve všech sekcích jsou ukládací vrty stejné délky 290 m se stejným rozestupem 25,7 m. Sekce I obsahuje 64 zavážecích vrtů, sekce II 39, sekce III 76 a sekce IV 23. Sekce V a VI se nacházejí v samostatné části HB a mají 114 resp. 60 ukládacích vrtů. Sekce jsou pak zpravidla (výjimkou je malá sekce IV) ještě rozděleny na 2 části, většinou obslužnou chodbou, takže je mezi nimi rozestup 83,7 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 7 m, UOS ETE 15 m a UOS NJZ 15 m. Dispoziční řešení je patrné z Obr.68.

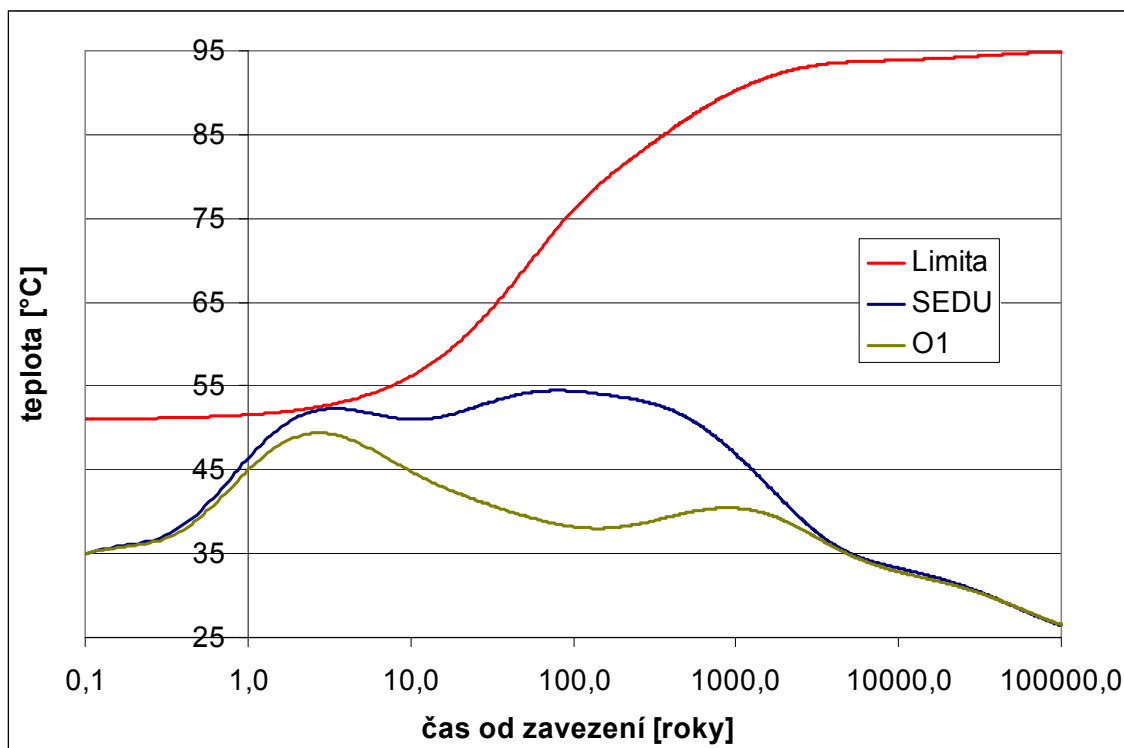


Obr.68 Dispoziční řešení lokality Horka, horizontální ukládání, ražba TBM, [24], příloha dispoziční řešení D3



Obr.69 Geometrie teplotního výpočtu lokality Horka, horizontální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení z [24], příloha dispozičního řešení D3, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavedeno UOS podle schéma na Obr.69. UOS EDU zaplňuje dvě části sekce I a menší část sekce II. UOS ETE je zavedeno do vrtů sekce II a III. UOS NJZ pak zaplňují zbylé vrty sekce III, celou sekci IV a sekci V. Poslední sekce není již zaplněna zcela. Vrty jsou vždy uvažovány zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení, která vede ke konzervativním výsledkům, není v tomto případě HÚ zaplněno celé a zůstává zcela nevyužitá sekce VI.



Obr.70 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM

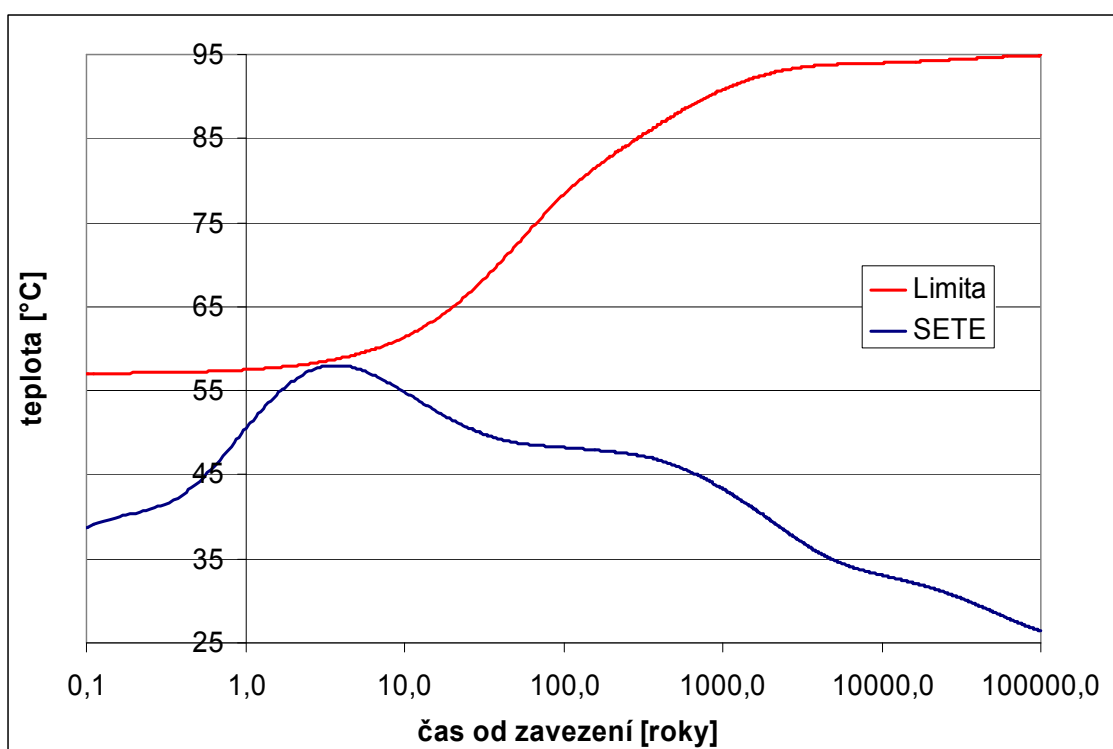


Protože žádný z UOS nelze s původními výkony ukládat (limitní teplota HB je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno uložení až po prodloužení doby skladování na 71,5 let, 73,5 let a 80 let (postupně UOS EDU, UOS ETE, UOS NJZ), kdy jejich tepelné výkony klesnou na úroveň: 601 W, 1006 W a 1007 W. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.69.

UOS EDU byly zaváženy do částí sekce I a II. Byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SEDU, což je střed největší oblasti zavezené pouze UOS EDU, a rohové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.70. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SEDU. Maximální teplota 54,5 °C je zde dosažena v čase 82 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 19,6 °C. Nejmenší rezerva 0,4 °C do limitní teploty nastává u středové pozice SEDU v čase 2,7 roku po zavezení, kdy má pozice teplotu 52,1 °C.

Teploty na rohové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 49,4 °C nastává 2,7 roku po zavezení a poté se teploty již pouze snižují. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 3,1 °C.



Obr.71 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM

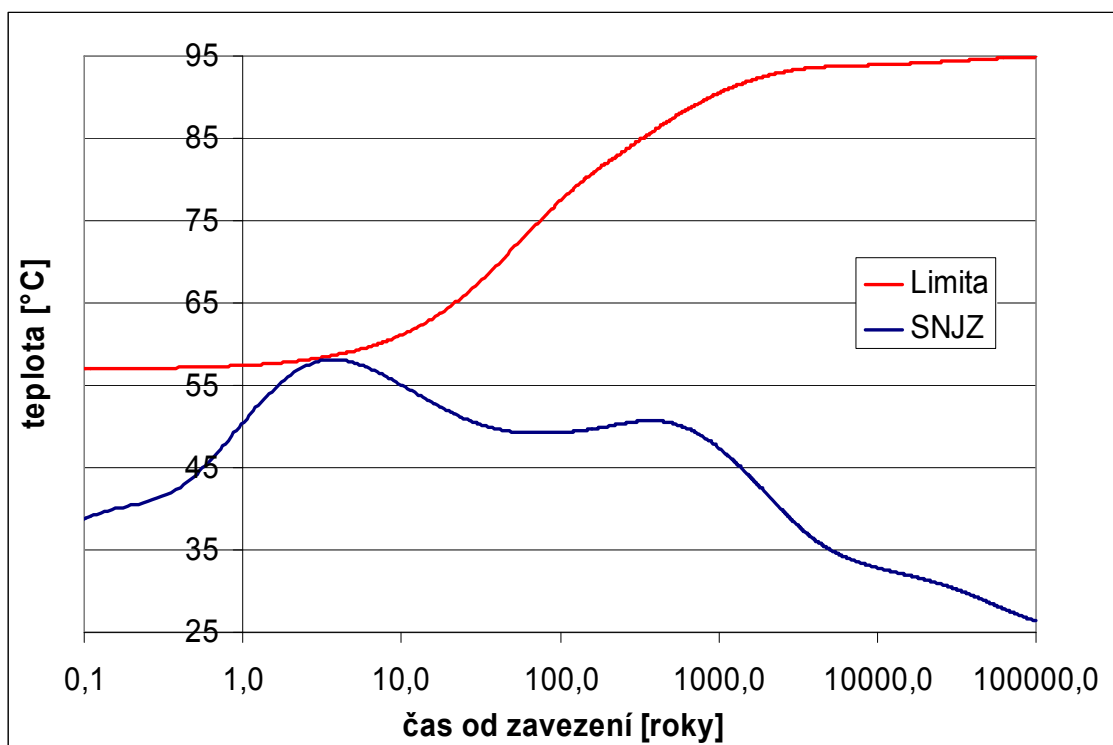
UOS ETE byly zaváženy do střední částí sekce II a III. V oblasti zavážené tímto typem UOS byla sledována pouze teplota na pozici SETE, což je středové místo největšího bloku zavezeného pouze UOS ETE. Tato pozice dává maximální teploty, které lze v oblasti zavezené UOS ETE očekávat. Průběh teploty je spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE

uveden v grafu na Obr.71. Z křivky je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teplota pozice SETE je dosažena v čase 3,7 roků po zavezení a má hodnotu 58 °C. Rezerva k limitní teplotě je v tento okamžik 0,8 °C. Nejmenší rezerva do limity 0,6 °C nastává na středové pozici SETE již v čase 3,1 roku po zavezení HÚ při teplotě 57,9 °C.

UOS NJZ byly zaváženy do menších částí sekce III a IV a velkých oblastí sekce V. Jako reprezentativní pozice v oblasti zavážené tímto typem UOS byla proto sledována pouze teplota na pozici SNJZ, což je středové místo největšího bloku zavezeného pouze UOS NJZ. Tato pozice dává maximální teploty, které lze v oblasti zavezené UOS NJZ očekávat. Průběh teploty je spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ uveden v grafu na Obr.72. Z křivky je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Nejvyšší teplota pozice SNJZ je dosažena v čase 3,7 roků po zavezení a má hodnotu 58,1 °C. Rezerva k limitní teplotě je v tento okamžik 0,5 °C. Nejmenší rezerva do limity 0,4 °C nastává na středové pozici SNJZ již v čase 3,1 roku po zavezení HÚ při teplotě 58 °C.



Obr.72 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS NJZ – horizontální ukládání, ražba TBM

Horizontální ukládání, ražba konvenční

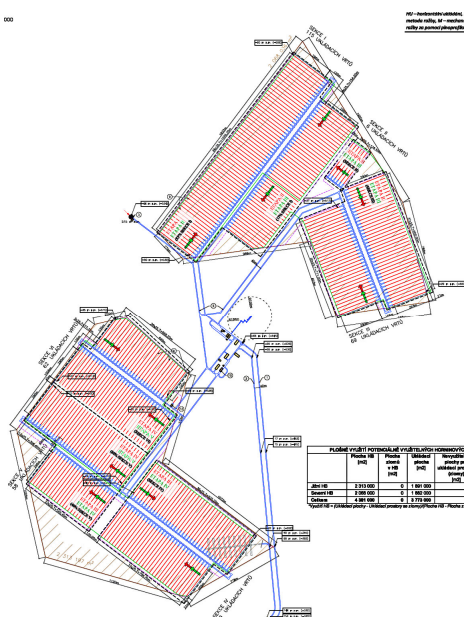
Dispoziční řešení podle [24], příloha dispoziční řešení D4, rozděluje HÚ opět do šesti sekcí ve dvou oddělených HB. Většina ukládacích vrtů má jednotnou délku 290 m se stejným rozestupem 25,7 m, pouze některé sekce mají délku vrtu proměnnou. Sekce I obsahuje 115 ukládacích vrtů, sekce II 6, sekce III 69. Zbýlé sekce se nacházejí v samostatné části HB

a mají postupně 69, 58 a 62 ukládacích vrtů. Sekce jsou zpravidla (výjimkou je malá sekce II) ještě rozděleny na 2 části, většinou obslužnými chodbami, takže je mezi nimi rozstup 126 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 7 m, UOS ETE 15 m a UOS NJZ 15 m. Dispoziční řešení této varianty ukládání je patrné z Obr.73.

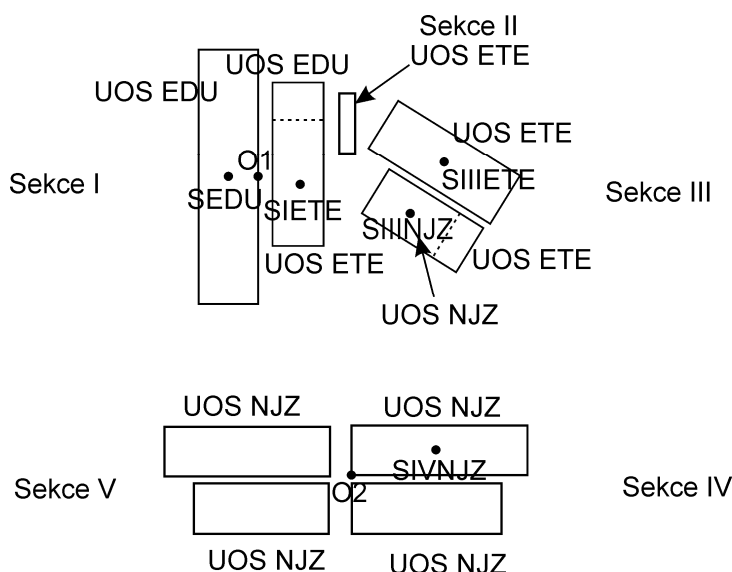
Dispoziční řešení z [24], příloha dispoziční řešení D4, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.74. UOS EDU zaplňuje celou levou část sekce I a 38 vrtů v pravé části. UOS ETE je zavezeno do zbylých 9 vrtů pravé části sekce I, celé malé sekce II a většiny sekce III. UOS NJZ jsou zavezeny do 18 vrtů sekce v centru HÚ a zbylé zaplňují celou sekci IV a sekci V. Poslední sekce není již zaplněna oproti dispozičnímu řešení zcela. Vrty jsou vždy uvažovány zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu není v tomto případě HÚ zaplněno celé a zůstává zcela nevyužitá sekce VI.

Protože žádný z UOS nelze s původními výkony ukládat (limitní teplota HB je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno uložení až po prodloužení doby skladování na 71,5 let, 73,5 let a 80 let (postupně UOS EDU, UOS ETE, UOS NJZ), kdy jejich tepelné výkony klesnou na úroveň: 601 W, 1006 W a 1007 W.

Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrné z Obr.74.

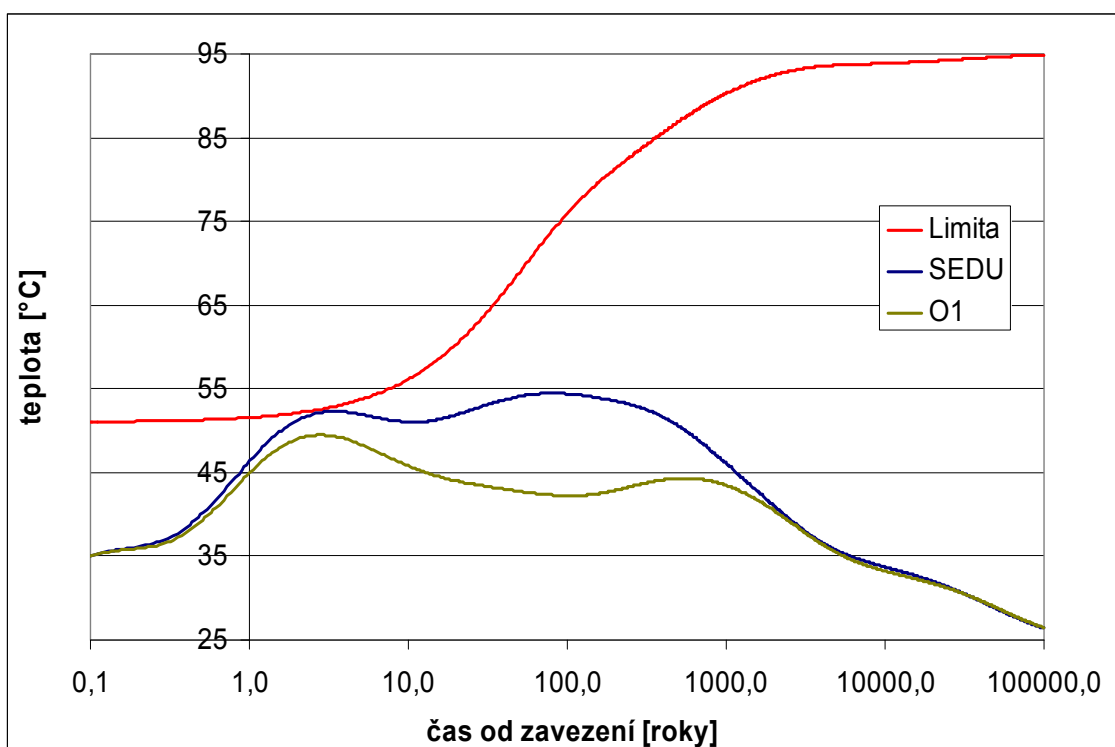


Obr.73 Dispoziční řešení lokality Horka, horizontální ukládání, konvenční ražba, [24], příloha dispoziční řešení D4



Obr.74 Geometrie teplotního výpočtu lokality Horka, horizontální ukládání, konvenční ražba

UOS EDU byly zaváženy do částí sekce I a II. Byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SEDU, což je střed největší oblasti zavezené pouze UOS EDU a okrajové O1, která je ze všech stran obklopena značným množstvím UOS. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.75. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.



Obr.75 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS EDU – horizontální ukládání, konvenční ražba

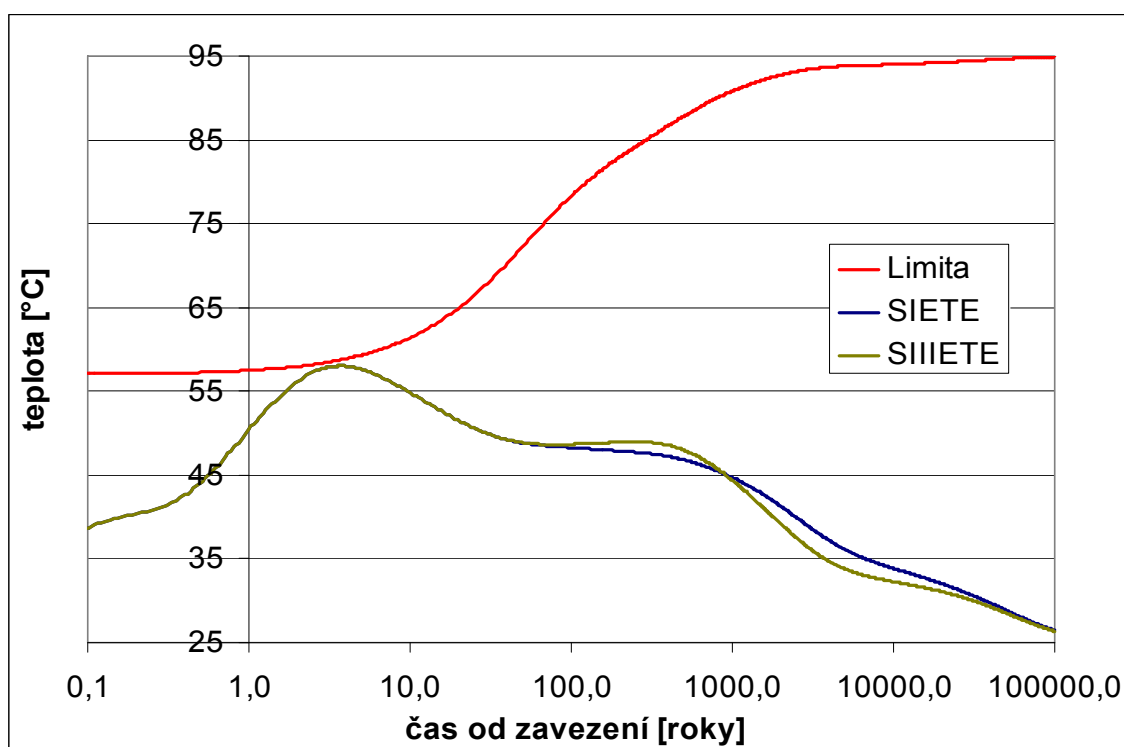


Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SEDU. Maximální teplota 54,5 °C je zde dosažena v čase 82 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 19,6 °C. Nejmenší rezerva 0,4 °C do limitní teploty nastává u středové pozice SEDU v čase 2,8 roku po zavezení, kdy má pozice teplotu 52,1 °C.

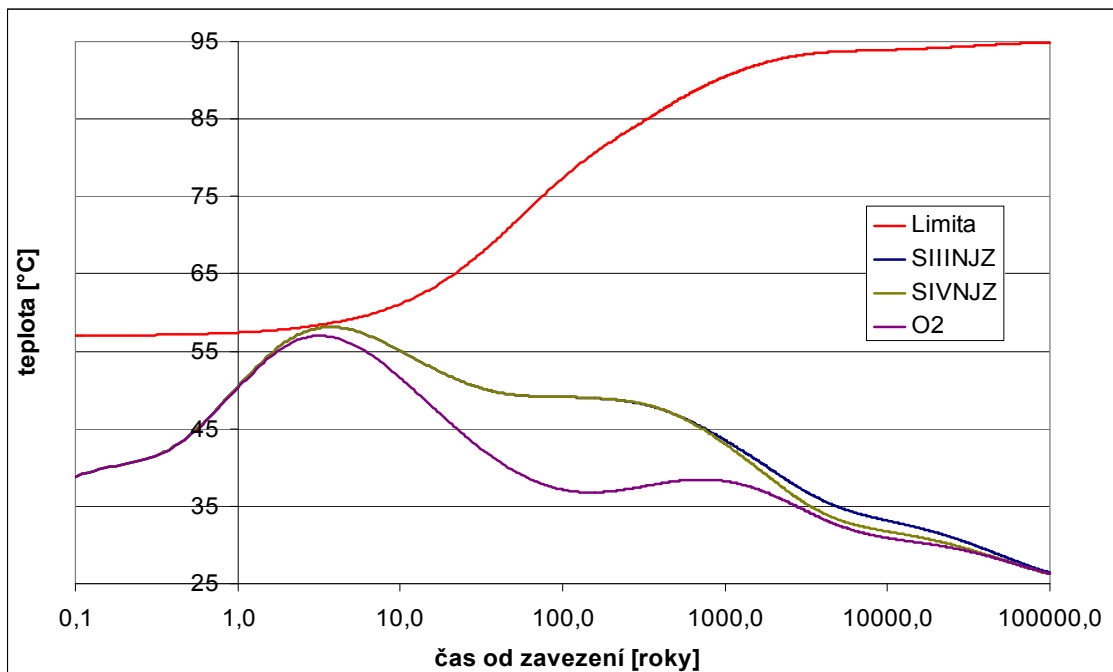
Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 49,5 °C nastává 2,8 roku po zavezení a poté se teploty již pouze snižují. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 3,1 °C.

UOS ETE byly zaváženy do menší části sekce I, sekce II a III. V oblasti zavážené tímto typem UOS byly sledovány teplota na pozici SIETE, což je středové pozice sekce I oblasti zavezené UOS ETE, a SIIIETE, která je středovou pozicí největší oblasti zavezené UOS ETE. Průběh teploty je spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE uveden v grafu na Obr.76. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Průběhy křivek jsou si velmi podobné, rozdíly jsou patrné až v pozdějších časových obdobích. Nejvyšší teplota na obou pozicích nastává v čase 3,8 roků po zavezení a má hodnotu 58 °C. Rezerva k limitní teplotě je v tento okamžik 0,7 °C. Nejmenší rezerva do limity 0,6 °C nastává u obou pozic již v čase 3,1 roku po zavezení HÚ při teplotě 57,9 °C.



Obr.76 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS ETE – horizontální ukládání, konvenční ražba



Obr.77 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Horka pro UOS NJZ – horizontální ukládání, konvenční ražba

UOS NJZ byly zaváženy do menších částí sekce III a IV a velkých vzdálenějších oblastí sekce V, viz Obr.74. Jako reprezentativní byly v oblasti zavážené tímto typem UOS sledovány tři pozice. SIIIINJZ je středem menší oblasti v sekci III, která je zavážena UOS NJZ a nachází se v blízkosti dalších sekcí. SIVNJZ je středem největší sekce zavážené UOS NJZ. O2 je rohovou pozicí v největší sekci zavážené UOS NJZ. Průběh teplot je spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ uveden v grafu na Obr.77. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavážené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

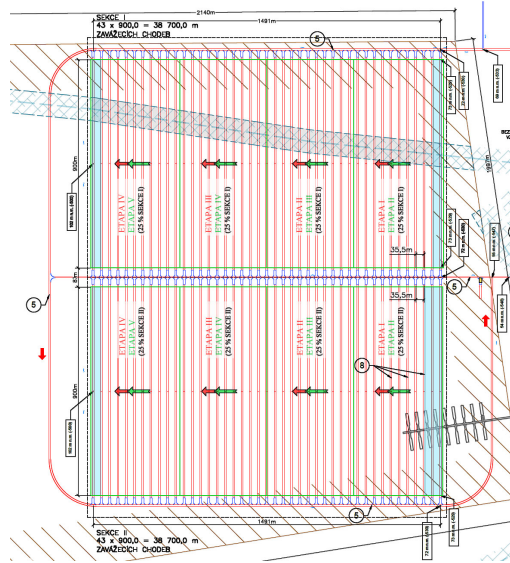
Průběhy teplot na obou středových pozicích mají velmi podobný charakter. Maximální teplota 58,1 °C je dosažena v čase 3,7 roků po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tento okamžik 0,5 °C. Nejmenší rezerva do limity 0,4 °C nastává již o chvíli dříve v čase 3,1 roku při teplotě 58 °C.

Teploty na okrajové pozici O2 jsou z počátku mírně nižší. Maximální teplota 57 °C nastává 3,2 roku po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tomto případě 1,4 °C. Poté se teploty výrazněji snižují.

4.3.4 Lokalita č. 4 - Hrádek

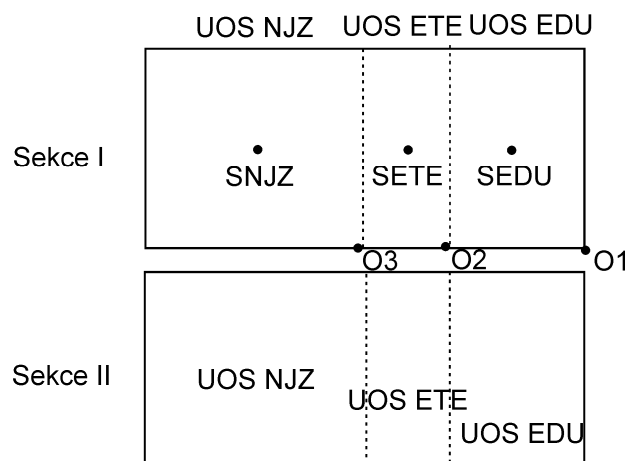
Vertikální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení podle [25], příloha dispozičního řešení D1, rozděluje HÚ do dvou sekcí. Ve všech sekcích jsou zavážecí chodby stejné délky 900 m se stejným rozestupem 35,5 m. Obě sekce obsahují shodně 43 zavážecích chodeb a jsou od sebe odděleny 87 m širokým prostorem s obslužnou chodbou. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5 m, UOS ETE 7 m a UOS NJZ 11,5 m. Dispoziční řešení je patrné z Obr.78.

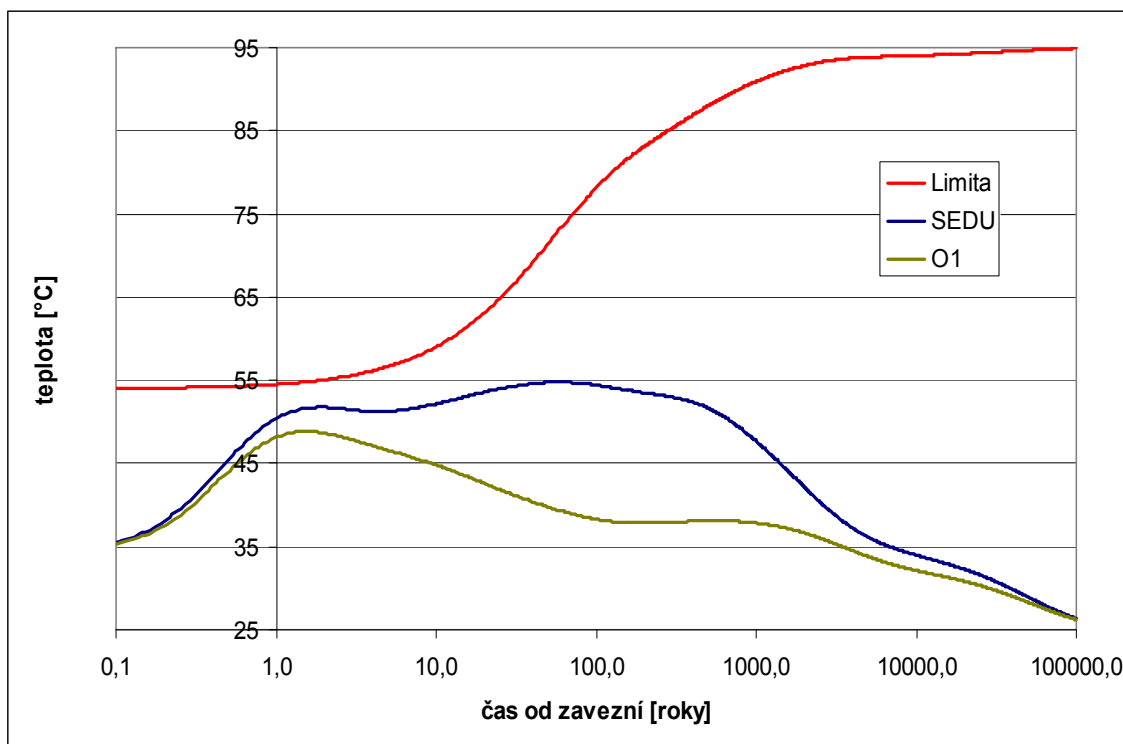


Obr.78 Dispoziční řešení lokality Hrádek, vertikální ukládání, ražba TBM, [25], příloha dispoziční řešení D1

Dispoziční řešení z [25], příloha dispoziční řešení D1, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.79. Protože zavážení UOS do HÚ je plánováno do obou sekcí I a II paralelně, jsou obě sekce zaváženy současně stejným typem UOS. Směrem z pravé strany do leva je tak v obou sekcích nejdříve zaplněno 9 zavážecích chodeb UOS EDU, poté 8 (v sekci I) resp. 7 (v sekci II) zavážecích chodeb UOS ETE a na závěr 18 (v sekci I) resp. 18 (v sekci II) zavážecích chodeb UOS NJZ. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení, která vede ke konzervativním výsledkům, není v tomto případě HÚ zaplněno celé. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.79.



Obr.79 Geometrie teplotního výpočtu lokality Hrádek, vertikální ukládání, ražba TBM



Obr.80 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SEDU, což je střed oblasti zavezené pouze UOS EDU, a okrajové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.80. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

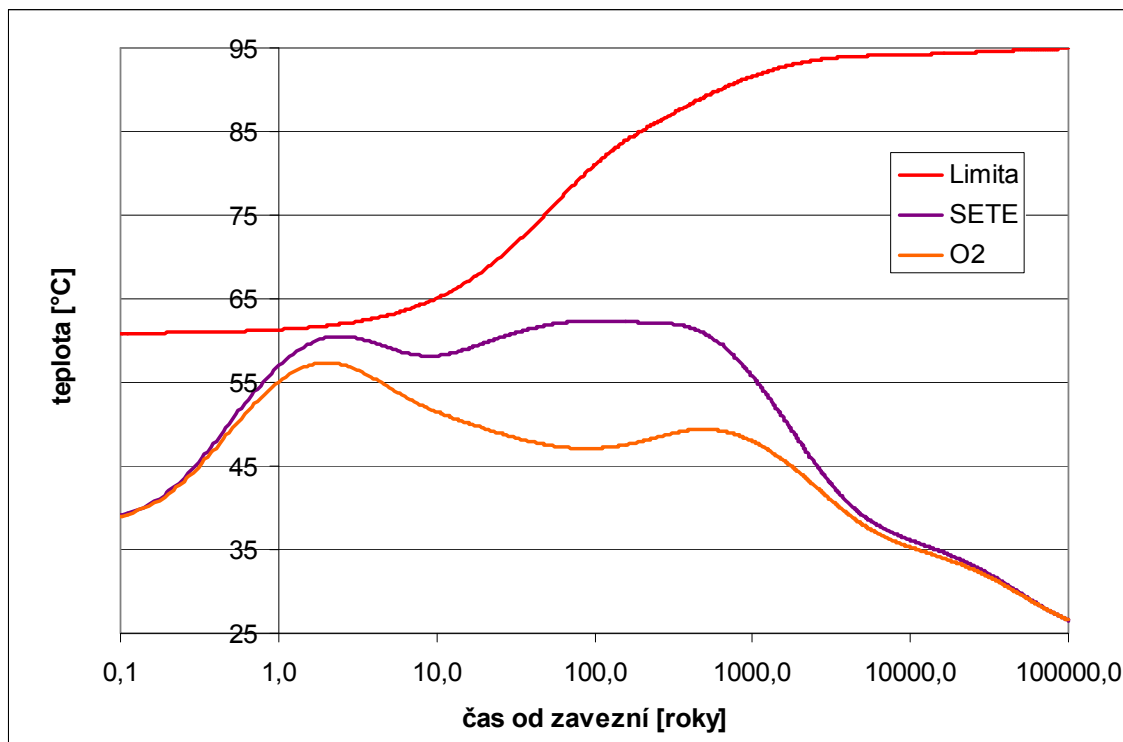
Nejvyšší teploty má středová pozice SEDU. Maximální teplota 54,8 °C je zde dosažena v čase 58 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 18,2 °C. Nejmenší rezerva 3,2 °C do limitní teploty nastává u středové pozice SEDU v čase 1,6 roku po zavezení, kdy má pozice teplotu 51,7 °C.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 48,9 °C nastává 1,5 roku po zavezení a poté se teploty již pouze snižují. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 6 °C.

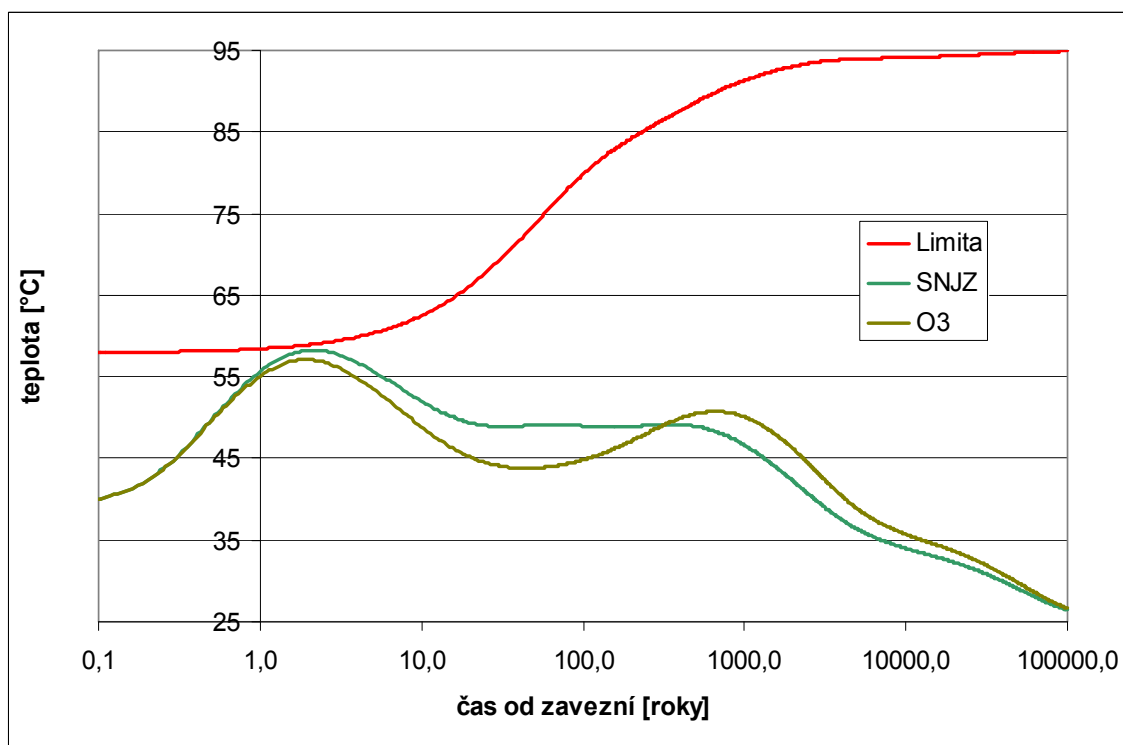
V oblasti zavážené UOS ETE byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SETE, což je střed oblasti zavezené pouze UOS ETE, a okrajové O2. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.81. Z průběhu křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SETE. Maximální teplota 62,3 °C je zde dosažena v čase 100 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 18,8 °C. Nejmenší rezerva 1,4 °C do limitní teploty nastává u středové pozice SETE v čase 2,1 roku po zavezení, kdy má pozice teplotu 60,4 °C.

Teploty na okrajové pozici O2 jsou nižší. Maximální teplota 57,3 °C zde nastává 2 roky po zavezení a poté se teploty již pouze snižují. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 4,4 °C.



Obr.81 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM



Obr.82 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS NJZ byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SNJZ, což je střed oblasti zavezené pouze UOS NJZ, a okrajové O3. Průběhy teplot jsou spolu s limitní

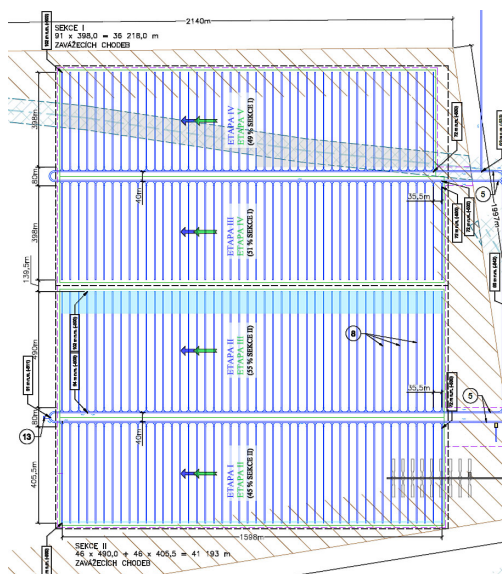
teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.82. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SNJZ. Maximální teplota 58,3 °C je zde dosažena v čase 2,1 roků od zavezení do HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 0,7 °C.

Teploty na okrajové pozici O3 jsou nižší. Maximální teplota 57,1 °C zde nastává 1,9 roků po zavezení a rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 1,9 °C. Poté se teplota až do doby 45 let snižuje. V období okolo 650 let nastává druhé maximum teploty cca 50,8 °C. Tento nárůst je dán skutečností, že pozice O3 se nachází velmi blízko středu celého HÚ a její teplota je tedy nejvíce ovlivňována všemi zavezenými UOS.

Vertikální ukládání, ražba konvenční

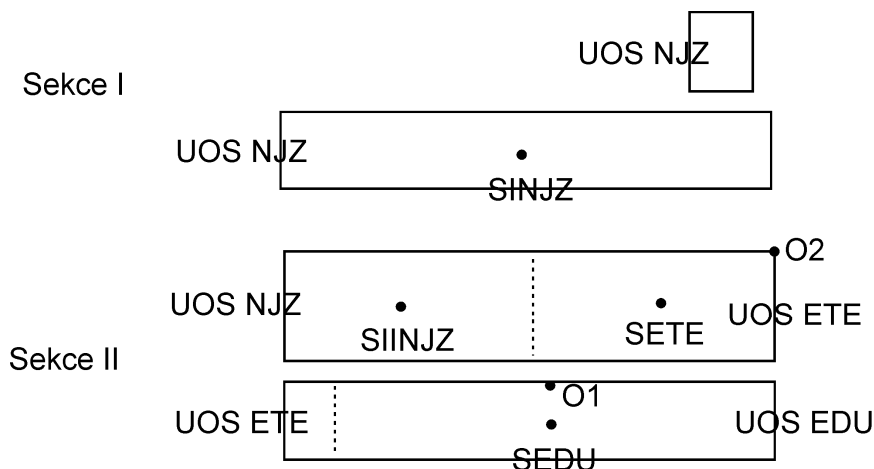
Dispoziční řešení podle [25], příloha dispoziční řešení D2, rozděluje HÚ do dvou sekcí, z nichž každá je pak prostorem o šíři 80 m s obslužnými chodbami dělena do dvou částí. Sekce I má 91 zavázečních chodeb a sekce II 92 zavázečních chodeb. Jednotlivé části mají zavázeční chodby různé délky (v dané části jsou však jejich délky stejné) s konstantní roztečí 35,5 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5 m, UOS ETE 7 m a UOS NJZ 11,5 m. Dispoziční řešení této varianty ukládání je patrné z Obr.83.



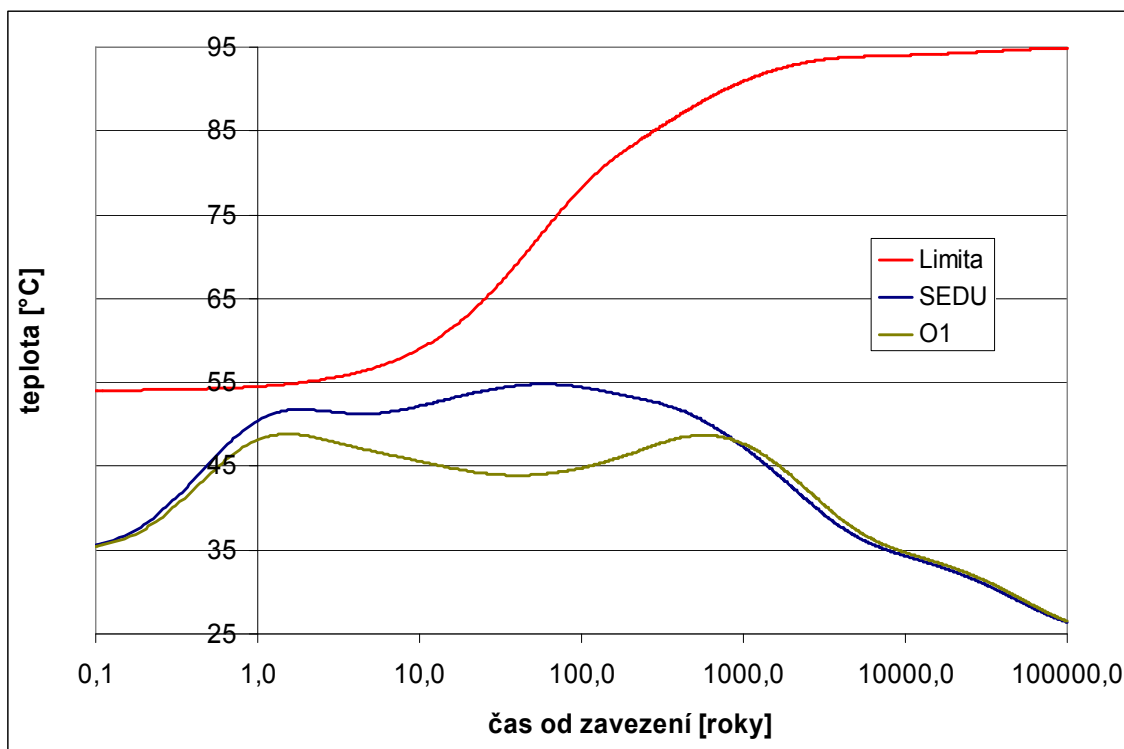
Obr.83 Dispoziční řešení lokality Hrádek, vertikální ukládání, konvenční ražba, [25], příloha dispoziční řešení D2

Popsané dispoziční řešení z [25], příloha dispoziční řešení D2, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.84. Vzhledem k návrhu zavážení UOS je nejdříve UOS EDU zaplněno prvních 40 zavázečních chodeb okrajové části sekce II. Zbýlých 6 chodeb této části je zaplněno UOS ETE. Hlavní množství UOS ETE je poté zavezeno ve směru zprava doleva do 22 zavázečních chodeb střední části sekce II a tato část je poté ještě doplněna UOS NJZ (24 zavázečních chodeb). Sekce I je zavezena pouze UOS NJZ. Vnitřní část zcela, ve vnější jsou obsazeny pouze 4 zavázeční chodby. Vždy jsou uvažovány zavázeční chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což

vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu není v tomto případě vnější část sekce I zaplněna celá. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.84.



Obr.84 Geometrie teplotního výpočtu lokality Hrádek, vertikální ukládání, konvenční ražba



Obr.85 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba

V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SEDU, což je střed části sekce II zavezené pouze UOS EDU, a okrajové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.85. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

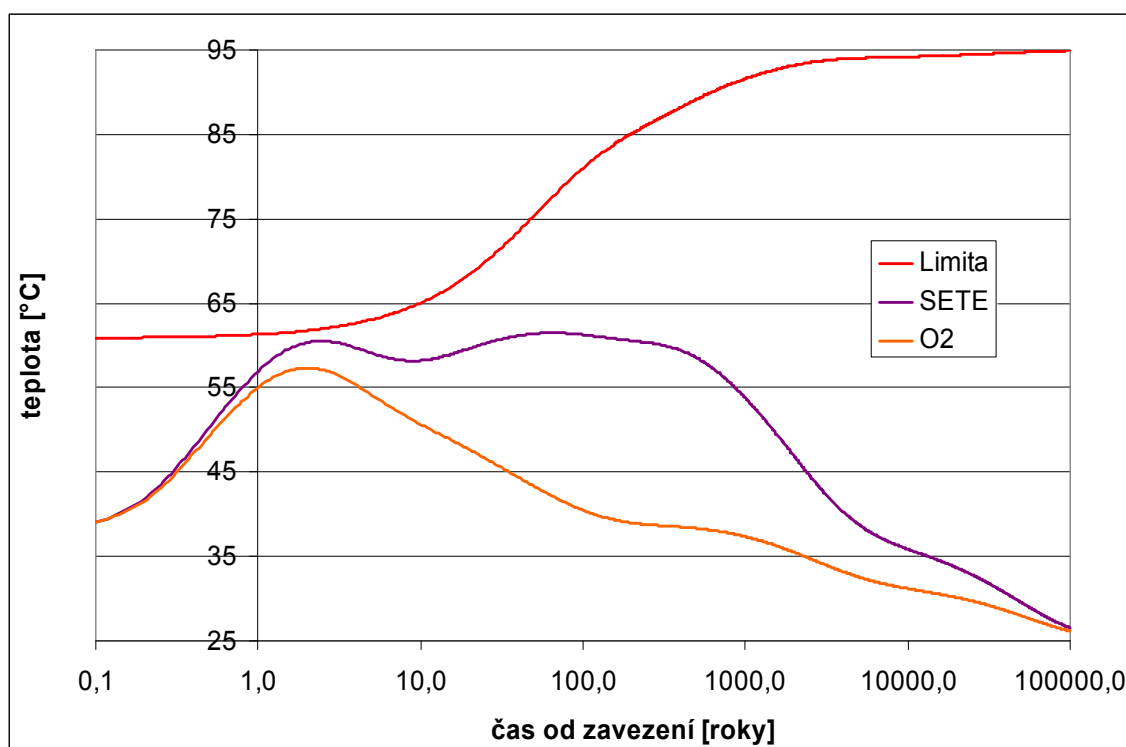
Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SEDU. Maximální teplota 54,8 °C je zde dosažena v čase 60 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 18,5 °C. Nejmenší rezerva 3,2 °C do limitní teploty nastává u středové pozice SEDU v čase 1,6 roku po zavezení, kdy má pozice teplotu 51,7 °C.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Průběh teplot má dvě téměř stejná maxima. První maximální teplota 48,8 °C nastává 1,5 roku po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 6 °C. V druhém maximu v čase 575 let po zavezení dosahuje teplota hodnoty 48,7 °C.

V oblasti zavážené UOS ETE byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SETE, což je střed vnitřní oblasti sekce II zavezené pouze UOS ETE, a rohové O2. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.86. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty má středová pozice SETE. Po dosažení první maximální teploty 60,5 °C v čase 2,4 let od zavezení HÚ, s rezervou do limitní teploty v tento okamžik 1,4 °C, se teploty drží na vysokých hodnotách. Maximální teplota nastává v době 65 let a teplota dosahuje hodnoty 61,5 °C. Teprve v době po 1500 let od zavezení klesá teplota na této pozici pod 50 °C.

Teploty na rohové pozici O2 jsou nižší. Maximální teplota 57,3 °C zde nastává 2 roky po zavezení a poté se teploty již pouze snižují. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 4,4 °C.

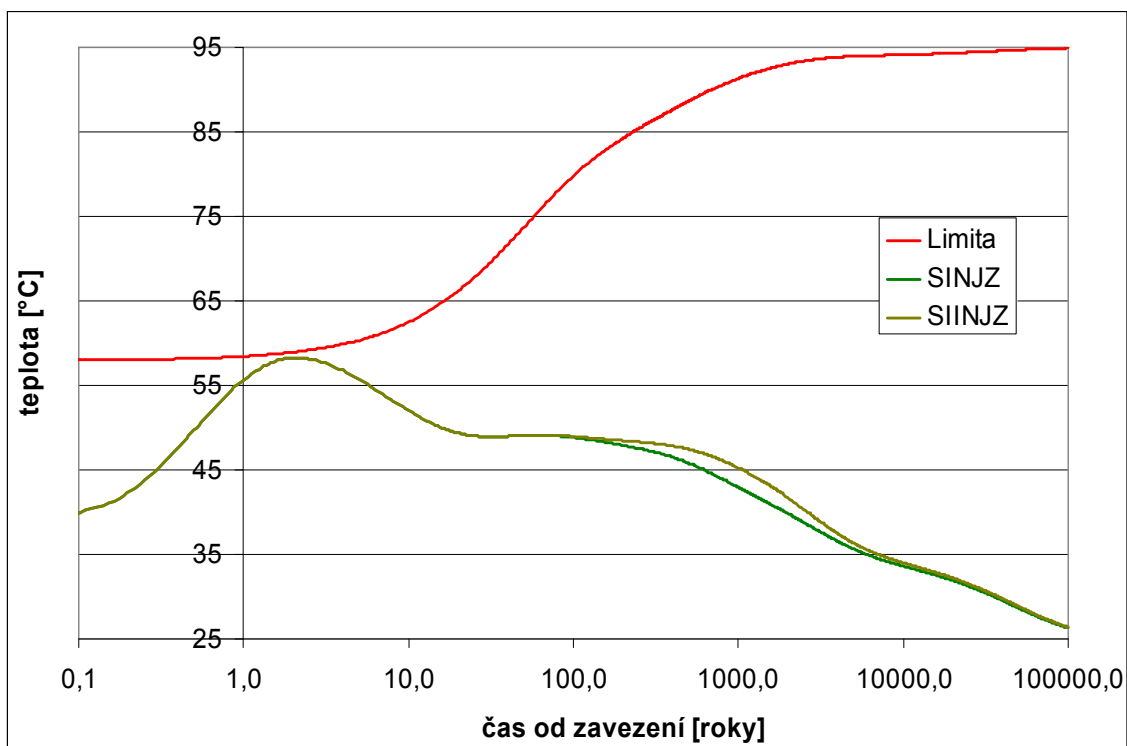


Obr.86 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba

V oblasti zavážené UOS NJZ byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SINJZ, což je střed největší oblasti zavezené UOS NJZ, a SIINJZ, tj. středu vnitřní oblasti sekce II

zavezené pouze UOS NJZ. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.87. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Teploty se na obou počítaných pozicích v počátečních obdobích téměř neliší. Nejvyšší teplota 58,3 °C je dosažena v čase 2,1 roku od zavezení do HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 0,7 °C. Poté již teploty klesají. Rozdíly v teplotách na obou pozicích jsou nejvíce patrné v období 100 až 10000 let po zavezení HÚ, nepřesahují však nikdy 3 °C.



Obr.87 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba

Horizontální ukládání, ražba TBM

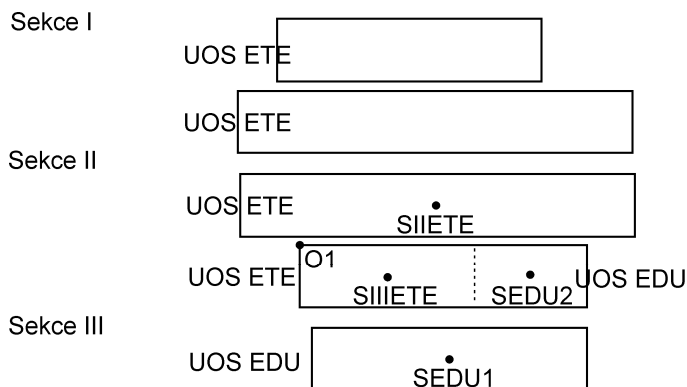
Dispoziční řešení podle [25], příloha dispozičního řešení D3, rozděluje HÚ do tří sekcí. Každá sekce je pak ještě dělena prostorem o šíři 67,25 m s obslužnou chodbou na dvě části. Sekce I má 123 ukládacích vrtů, sekce II 136 a sekce III 101 ukládacích vrtů. Ve všech sekcích a jejich částech jsou ukládací vrty stejné délky 283 m se stejným rozestupem 25,7 m. Počet vrtů je v každé sekci i části odlišný. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 6,5 m, UOS ETE 13,5 m a UOS NJZ 13,5 m. Dispoziční řešení je patrné z Obr.88.



Obr.88 Dispoziční řešení lokality Hrádek, horizontální ukládání, ražba TBM, [25], příloha dispoziční řešení D3

Dispoziční řešení z [25], příloha dispoziční řešení D3, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavedeno UOS podle schéma na Obr.89. Protože UOS NJZ nelze s původním výkonem 1221 W ukládat (limitní teplota je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno jeho uložení až po 71,5 letech skladování, kdy jeho tepelný výkon klesne na úroveň 1125 W, tj. UOS ETE. Jelikož geometrické konfigurace UOS NJZ a UOS ETE jsou stejné, jsou ve výpočtu proto uvažovány pouze typy UOS: UOS EDU (celkem 3100 ks) a UOS ETE (4500 ks).

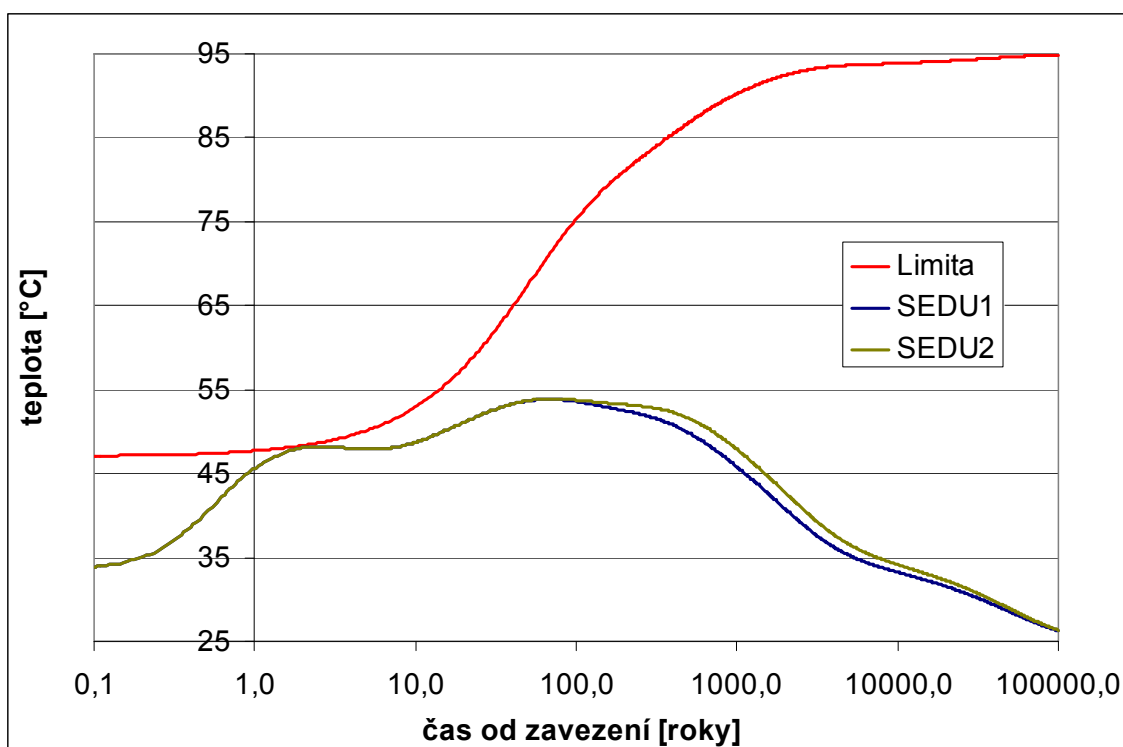
Umístění jednotlivých typů UOS do ukládacích chodeb vychází z návrhu zavážení HÚ v [25] - příloha dispoziční řešení D3. Nejdříve jsou UOS EDU zaplněny vnější ukládací vrty sekce III a poté 23 vnitřních ukládacích vrtů téže sekce. Zbýlých 28 vrtů sekce III je již zavedeno UOS ETE. Zbýlé části HÚ jsou již zavedeny pouze UOS ETE. Vždy jsou uvažovány ukládací vrty zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS vzhůru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení, která vede ke konzervativním výsledkům, není v tomto případě HÚ zaplněno celé a např. sekce I je využita pouze z části. Byly počítány průběhy teplot v celkem pěti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.89.



Obr.89 Geometrie teplotního výpočtu lokality Hrádek, horizontální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích: SEDU1, což je střed okrajové části sekce III zavezené pouze UOS EDU, a SEDU2, tj. středu UOS EDU zavezené vnitřní části sekce III. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.90. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Teploty se na obou počítaných pozicích v počátečních obdobích až do cca 100 let od zavezení téměř neliší. Nejmenší rezerva k limitní teplotě 0,3 °C nastává ve 2 letech po zavezení při teplotě HB na okraji vývrtu 48 °C. Teploty pak po mírné stagnaci dále stoupají až do maxima 53,9 °C v 70-ti letech po zavezení. Od tohoto období již dochází pouze k poklesu teplot.

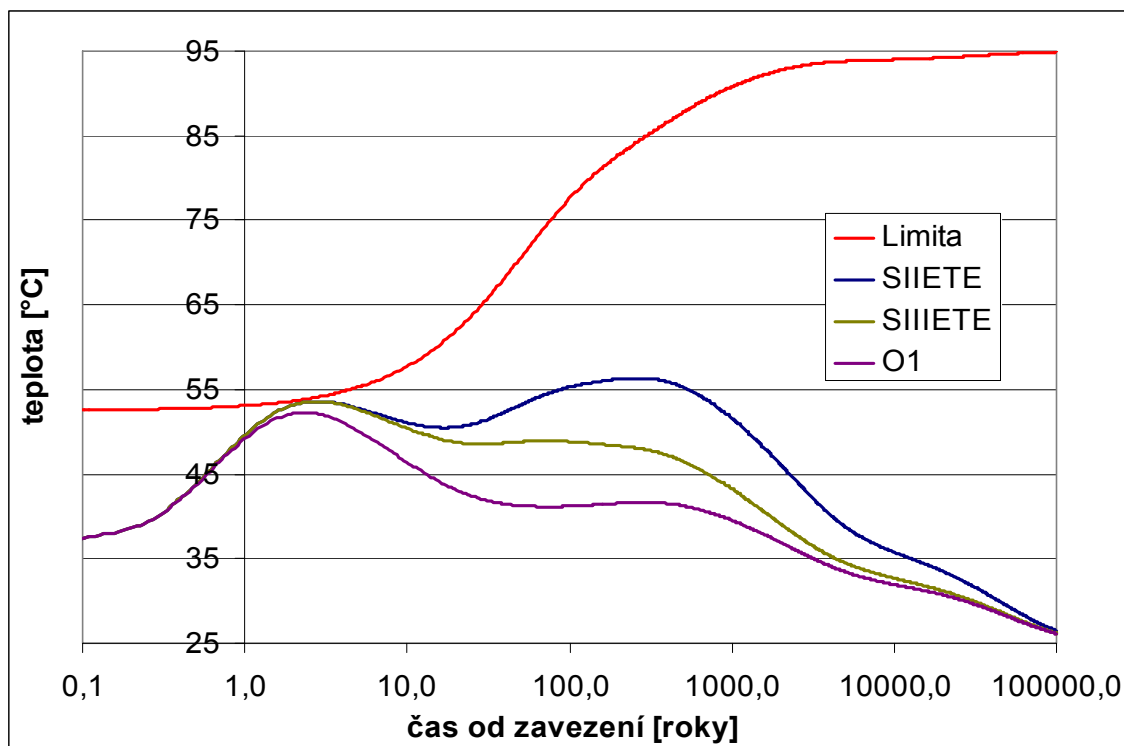


Obr.90 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS ETE (resp. UOS NJZ) byly sledovány teploty na tří pozicích: středových SIIETE (střed největší sekce) a SIIIETE (střed části zavezené pouze UOS ETE), a rohové O1. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.91. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE (resp. UOS NJZ) k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty jsou dosahovány na středové pozici SIIETE, což je dáno téměř středovou pozicí této sekce v celém HÚ. První teplotní maximum 53,6 °C nastává v čase 2,8 let od zavezení HÚ, s rezervou do limitní teploty v tomto okamžiku 0,5 °C. Maximální teplota je dosažena v době cca 250 let a teplota má při ní hodnotu 56,3 °C. Druhá středová pozice SIIIETE má v prvních letech po zavezení totožný průběh teplot včetně stejné rezervy k limitní teplotě. Od cca devátého roku však dochází k výraznějšímu poklesu teplot.

Teploty na rohové pozici O1 jsou celkově nižší. Maximální teplota 52,3 °C zde nastává 2,3 roků po zavezení se současnou rezerva k limitní teplotě 1,2 °C. Poté se teploty snižují s mírným nárůstem v období 75 - 300 let cca 0,5 °C.



Obr.91 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Hrádek pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM

Horizontální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení se podle [25], příloha dispoziční řešení D4, téměř shoduje s dispoziční horizontálního ukládání provedeného pomocí ražby TBM (viz předchozí odstavec). Jediným rozdílem mezi oběma variantami jsou jednotkové rozdíly mezi počtem vrtů v sekcích I a II (TBM 123 resp. 136 proti 122 resp. 138 při konvenční), sekce III má shodně 101 ukládacích vrtů, a rozteče mezi dvěma bloky v sekcích, která se při konvenční ražbě snižuje o 1,25 m (z 87,25 m na 86 m) a o tuto vzdálenost se zvětšuje šířka pásma mezi sekcemi. Vzhledem k vlivům rozměrů bloků a jejich vzdáleností na teploty v HÚ je možno tuto změnu zanedbat. Sledované průběhy teplot lze proto v této variantě úložiště považovat za stejné jako v případě horizontálního ukládání provedeného metodou TBM, viz předchozí odstavec.

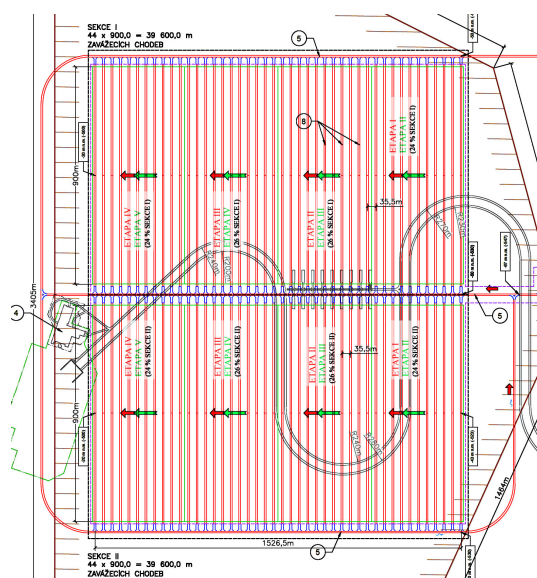
4.3.5 Lokalita č. 5 – Březový potok

Vertikální ukládání, ražba TBM

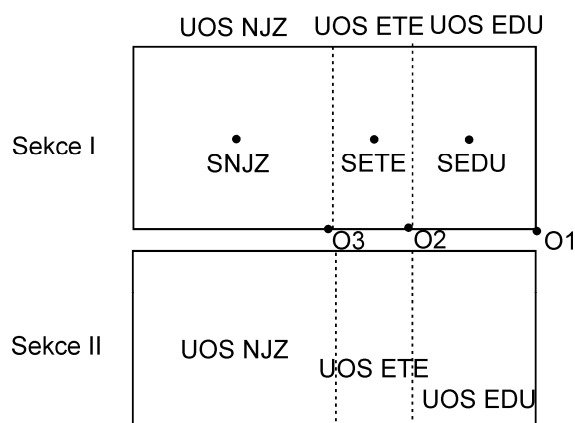
Dispoziční řešení podle [26], příloha dispoziční řešení D1, rozděluje HÚ do dvou sekcí. Ve všech sekcích jsou zavážecí chodby stejné délky 900 m se stejným rozestupem 35,5 m. Obě sekce obsahují shodně 44 zavážecích chodeb a jsou od sebe odděleny 87 m širokým

prostorem s obslužnou chodbou. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5 m, UOS ETE 7,5 m a UOS NJZ 13,5 m. Dispoziční řešení je patrné z Obr.92.

Dispoziční řešení z [26], příloha dispoziční řešení D1, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.93. Protože zavážení UOS do HÚ je plánováno do obou sekcí paralelně, jsou do obou sekcí I a II umístěny současně stejné typy UOS. Směrem z pravé strany do leva je tak v obou sekcích nejdříve zaplněno 9 zavážecích chodeb UOS EDU, poté 8 zavážecích chodeb UOS ETE a na závěr 20 chodeb UOS NJZ. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení, která vede ke konzervativním výsledkům, není v tomto případě HÚ zaplněno celé. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.93.



Obr.92 Dispoziční řešení lokality Březový potok, vertikální ukládání, ražba TBM, [26], příloha dispoziční řešení D1



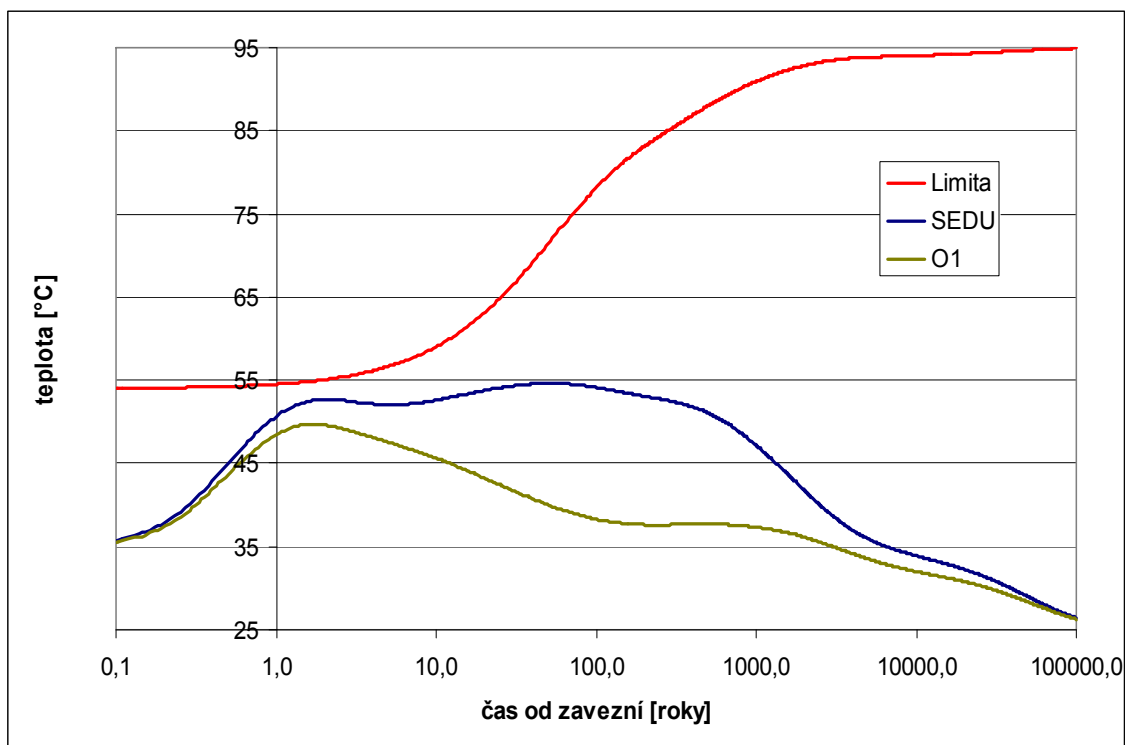
Obr.93 Geometrie teplotního výpočtu lokality Březový potok, vertikální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS EDU byly počítány teploty na dvou pozicích: středové SEDU, což je střed oblasti sekce I zavezené pouze UOS EDU, a okrajové O1. Průběhy teplot jsou spolu

s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.94. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty má středová pozice SEDU. Maximální teplota 54,6 °C je zde dosažena v čase 50 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 17,9 °C. Nejmenší rezerva 2,3 °C do limitní teploty nastává u středové pozice SEDU v čase 1,8 roku po zavezení, kdy má pozice teplotu 52,6 °C.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 49,7 °C nastává 1,7 roku po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 5,3 °C. Od uvedeného okamžiku se teploty na pozici snižují.

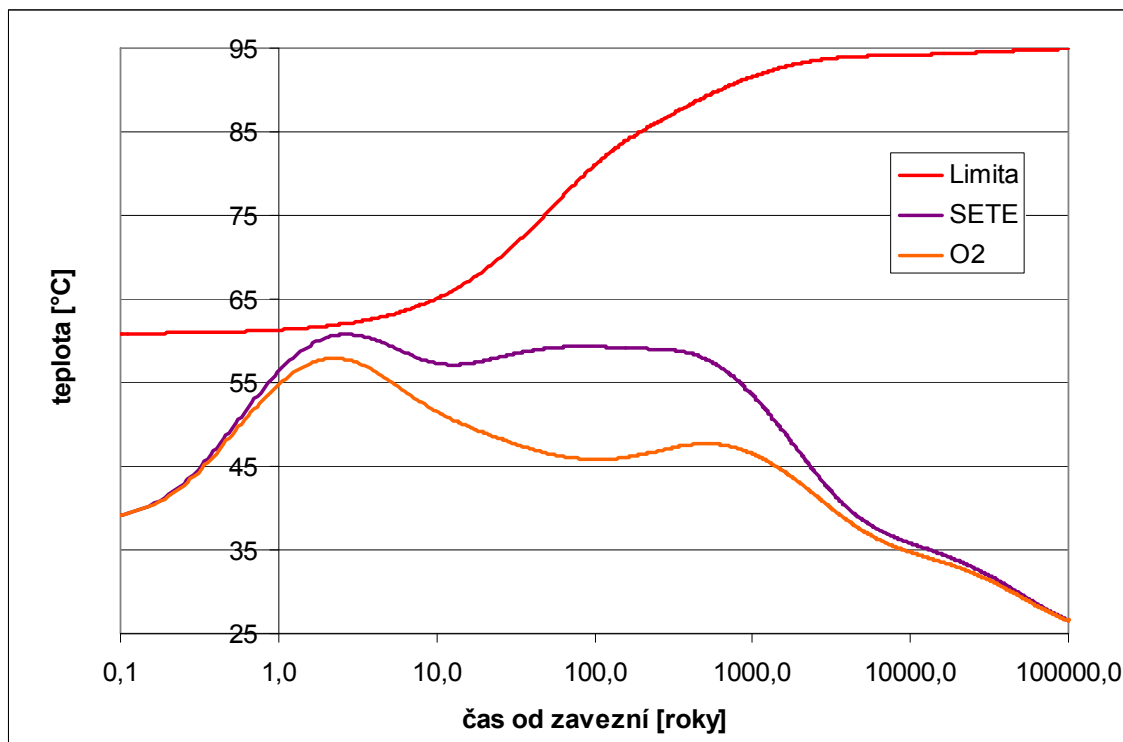


Obr.94 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavezené UOS ETE byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SETE, což je střed oblasti zavezené v sekci I pouze UOS ETE, a okrajové O2. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.95. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty má středová pozice SETE. Maximální teplota 60,8 °C je zde dosažena v čase 2,7 roku od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 1,3 °C. Z maxima teplota do 13 roku klesá a poté začíná mírně stoupat k druhé nejvyšší hodnotě 59,4 °C dosažené v období 80 let od zavezení.

Teploty na okrajové pozici O2 jsou celkově nižší. Maximální teplota 57,9 °C zde nastává 2,2 roky po zavezení s rezervou k limitní teplotě je v tuto chvíli 3,9 °C. Poté se teploty snižují s drobným nárůstem v období 100 až 500 let po zavezení.

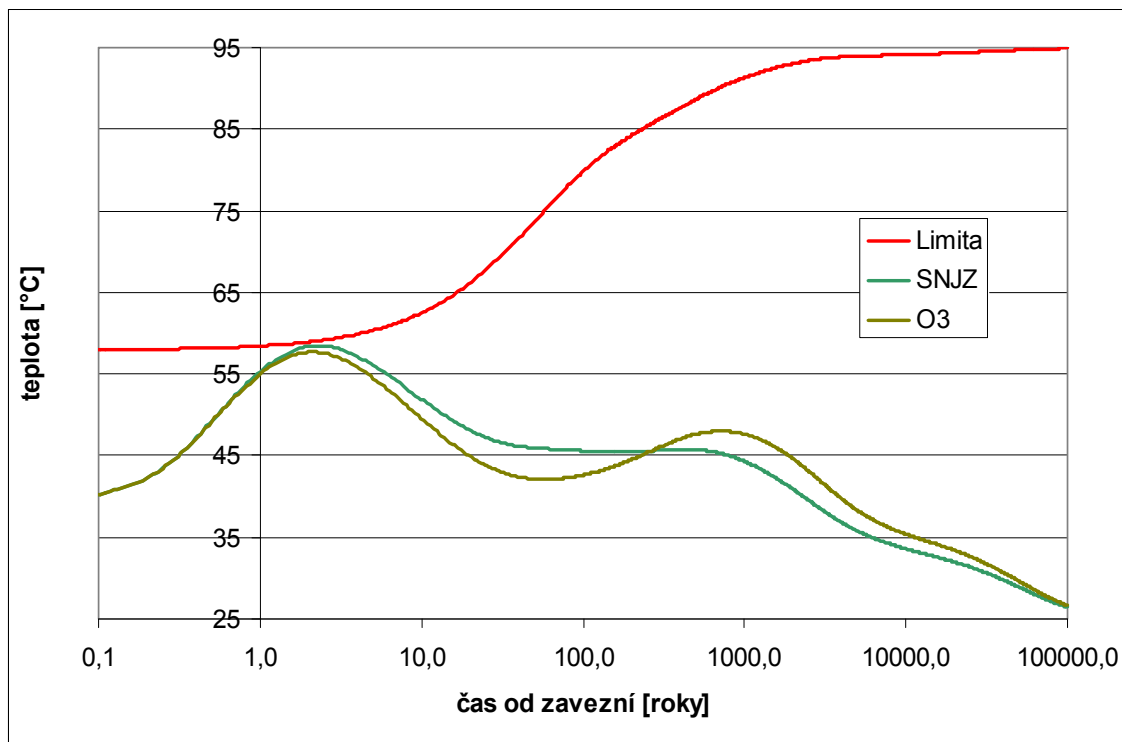


Obr.95 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS NJZ byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SNJZ, což je střed oblasti sekce I zavezené pouze UOS NJZ, a okrajové O3. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.96. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty má středová pozice SNJZ. Maximální teplota 58,5 °C je zde dosažena v čase 2,3 roků od zavezení do HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 0,6 °C. Teplota pak klesá s výjimkou stagnace v období 30 až 800 let po zavezení, kdy se pohybuje okolo 45 °C.

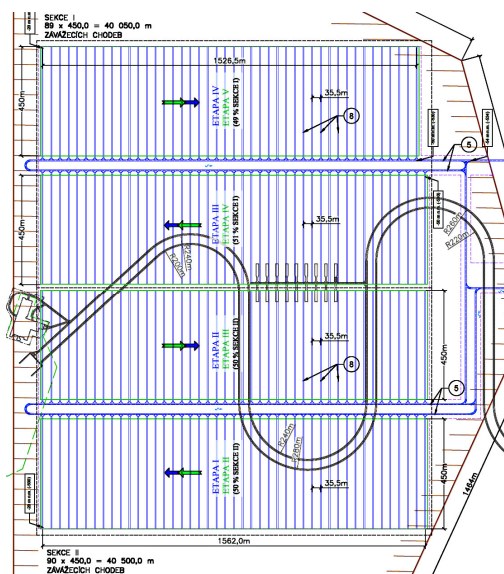
Teploty na okrajové pozici O3 jsou nižší. Maximální teplota 57,7 °C zde nastává 2,1 roků po zavezení a rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 1,4 °C. Poté se teplota až do doby 55 let snižuje. V době okolo 700 let nastává druhé maximum teploty cca 48 °C. Tento nárůst je dán skutečností, že pozice O3 se nachází velmi blízko středu celého HÚ a je její teplota je tedy nejvíce ovlivňována všemi zavezenými UOS.



Obr.96 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM

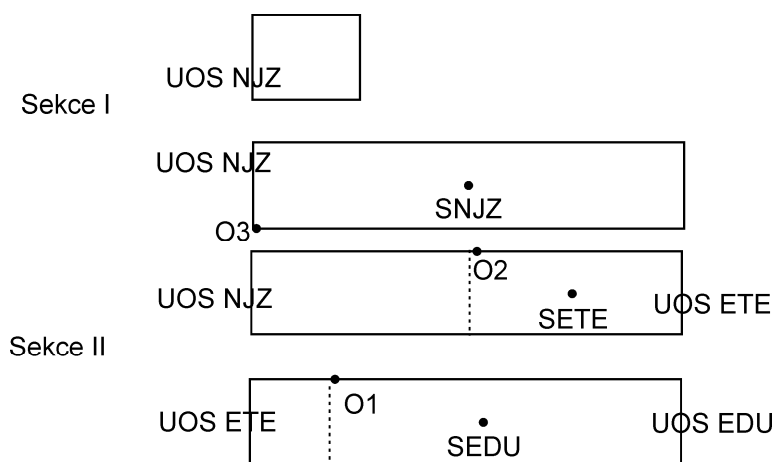
Vertikální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení podle [26], příloha dispozičního řešení D2, rozděluje HÚ do dvou sekcí, z nichž každá je pak prostorem o šíři cca 80 m s obslužnými chodbami dělena do dvou částí. V sekci I se nachází 89 zavážečích chodeb, v sekci II 90 chodeb. Všechny části mají zavážečí chodby stejné délky 450 m s konstantní roztečí mezi chodbami 35,5 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5 m, UOS ETE 7,5 m a UOS NJZ 13,5 m. Dispoziční řešení této varianty ukládání je patrné z Obr.97.



Obr.97 Dispoziční řešení lokality Březový potok, vertikální ukládání, konvenční ražba, [26], příloha dispozičního řešení D2

Popsané dispoziční řešení z [26], příloha dispoziční řešení D2, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.98. Vzhledem k návrhu zavážení UOS (viz [26]) je nejdříve UOS EDU zaplněno prvních 36 zavážecích chodeb okrajové části sekce II. Zbýlých 9 chodeb této části je zaplněno UOS ETE. Hlavní část UOS ETE je poté zavezena ve směru zprava doleva do 22 zavážecích chodeb střední části sekce II. Tato část je poté doplněna UOS NJZ (23 zavážecích chodeb). Sekce I je zavezena pouze UOS NJZ, přičemž vnitřní část je obsazena zcela, ve vnější je zleva zavezeno 14 zavážecích chodeb. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu, není v tomto případě vnější část sekce I zaplněna celá. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.98.

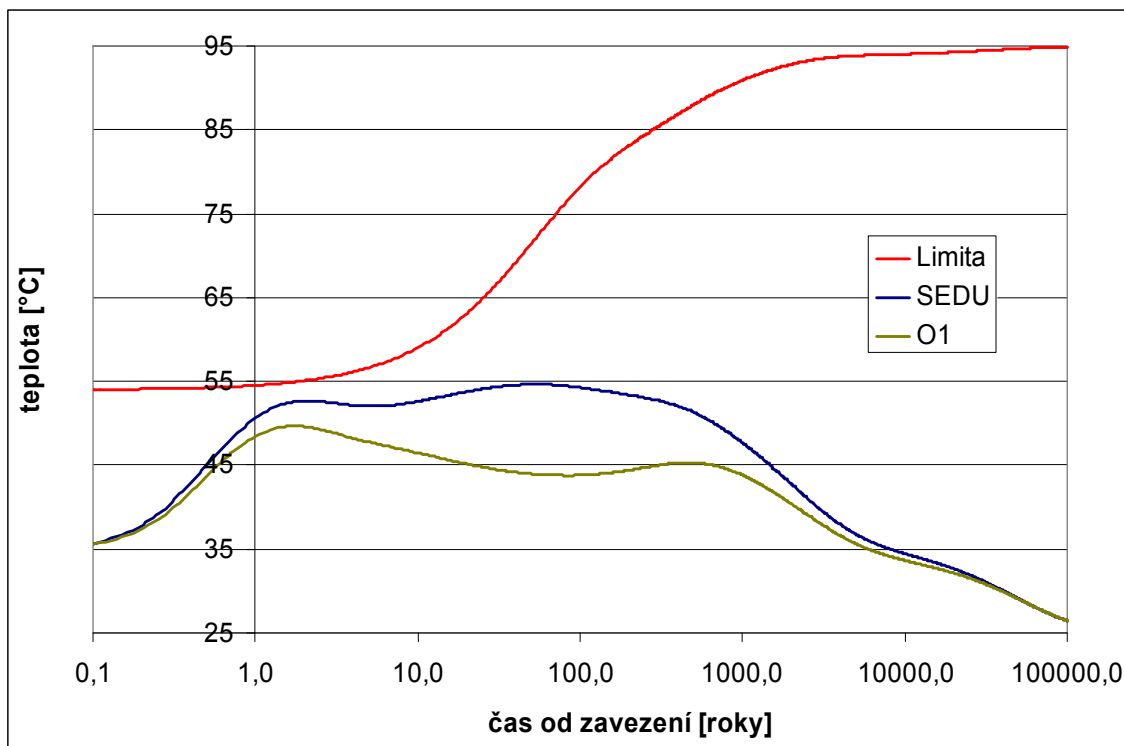


Obr.98 Geometrie teplotního výpočtu lokality Březový potok, vertikální ukládání, konvenční ražba

V oblasti zavážené UOS EDU byly počítány teploty na dvou pozicích: středové SEDU, což je střed části sekce II zavezené pouze UOS EDU, a okrajové O1 (viz Obr.98). Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.99. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty má středová pozice SEDU. Maximální teplota 54,6 °C je zde dosažena v čase 55 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 18,8 °C. Nejmenší rezerva 2,4 °C do limitní teploty nastává u středové pozice SEDU v čase 1,8 roku po zavezení, kdy má pozice teplotu 52,6 °C.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 49,7 °C nastává 1,7 roku po zavezení s rezervou k limitní teplotě 5,2 °C. Teplota poté pomalu klesá těsně pod 45 °C, aby v období 80 až 460 let po zavezení ještě mírně vystoupala nad tuto hodnotu.



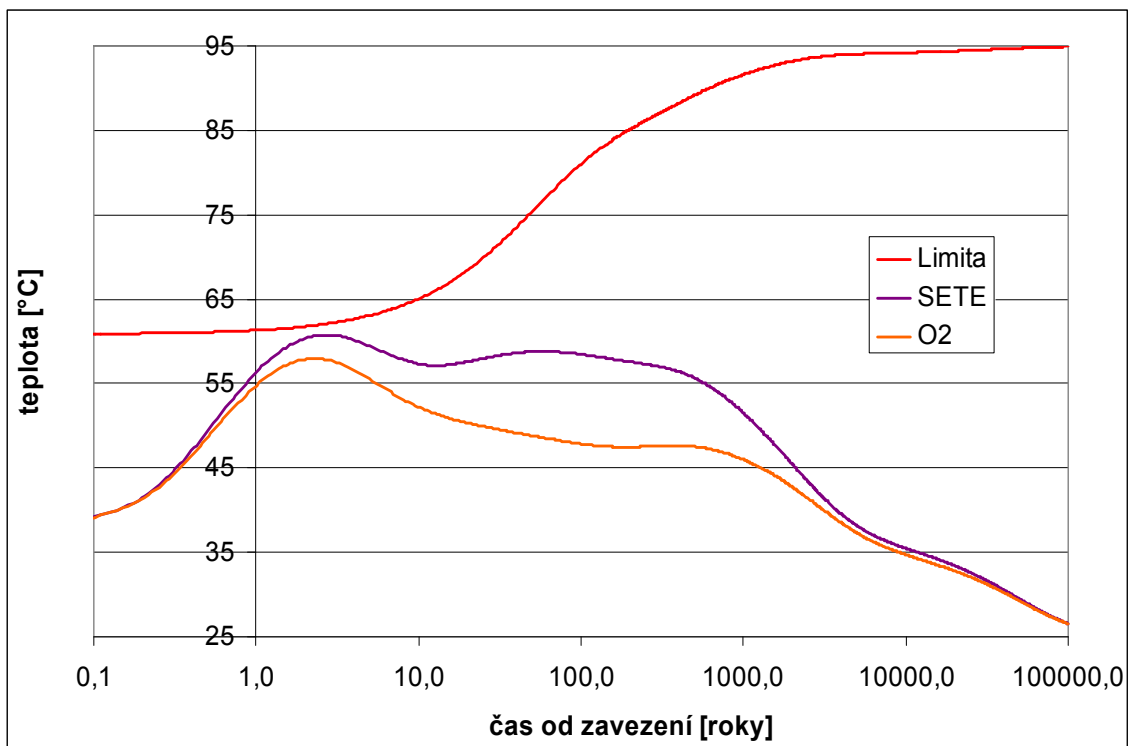
Obr.99 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba

V oblasti zavážené UOS ETE byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SETE, což je střed vnitřní oblasti sekce II zavezené pouze UOS ETE, a rohové O2 (viz Obr.98). Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.100. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

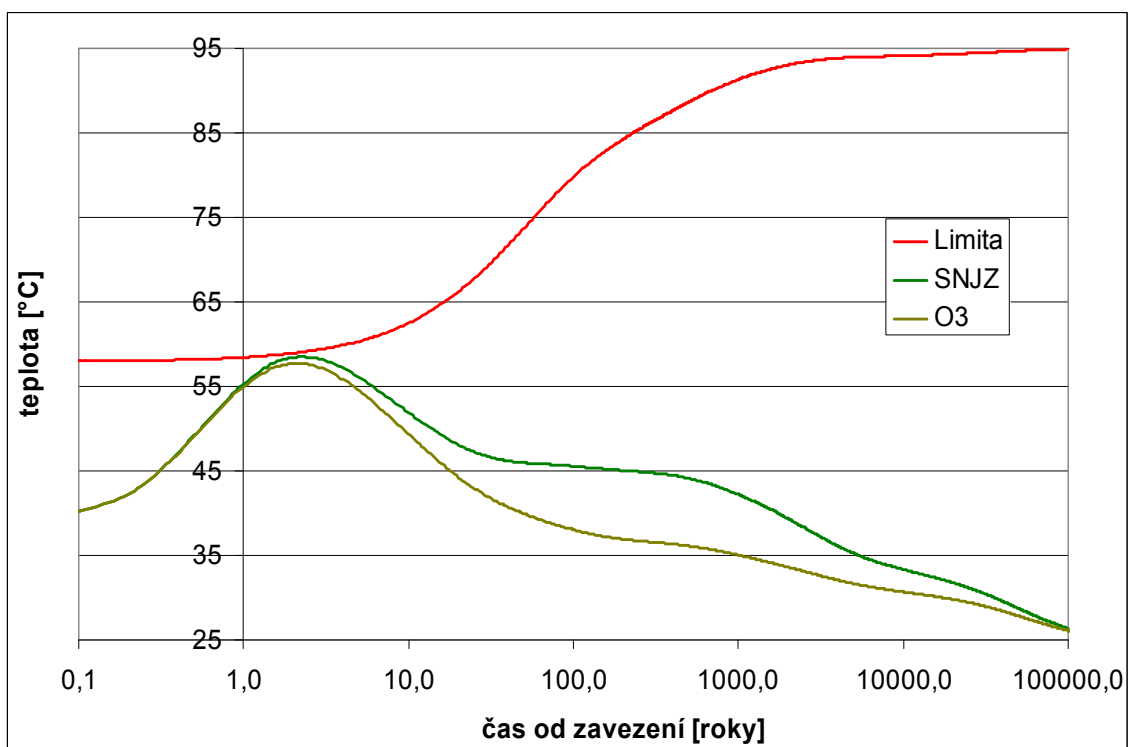
Nejvyšší teploty má středová pozice SETE. Maximální teplota zde v čase 2,6 let od zavezení HÚ dosahuje 60,8 °C s rezervou do limitní teploty v tomto okamžiku 1,3 °C. Teploty jsou na této pozici nad 55 °C poměrně dlouhou dobu až do 600 let.

Teploty na rohové pozici O2 jsou nižší. Maximální teplota 57,9 °C zde nastává 2,2 roků po zavezení a poté se teploty již pouze snižují. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 4 °C.

V oblasti zavážené UOS NJZ byly sledovány teploty na dvou pozicích: středové SNJZ, což je střed největší oblasti zavezené UOS NJZ, a O3 (viz Obr.98). Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.101. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.



Obr.100 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba



Obr.101 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba

Nejvyšší teploty má středová pozice SNJZ. Maximální teplota 58,5 °C je zde dosažena v čase 2,3 roku od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 0,6 °C.

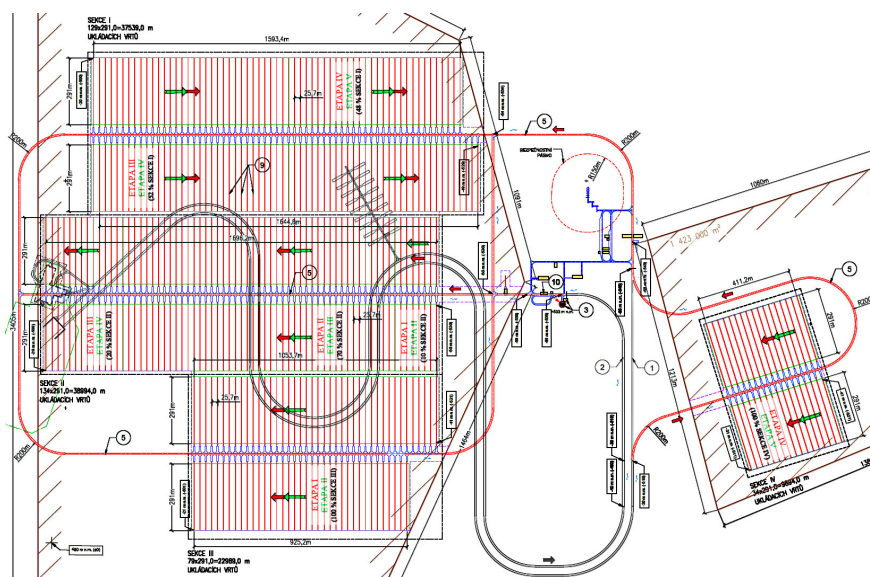
Nejmenší rezerva 0,5 °C do limitní teploty nastává u této středové pozice v čase 2 roky po zavezení, kdy má pozice teplotu 58,4 °C.

Teploty na okrajové pozici O3 jsou nižší. Maximální teplota 57,7 °C zde nastává 2 roky po zavezení s rezervou k limitní teplotě 1,2 °C.

Horizontální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení podle [26], příloha dispoziční řešení D3, rozděluje HÚ do čtyř sekcí. Každá sekce je pak ještě dělena prostorem s obslužnou chodbou na dvě části. Počet ukládacích vrtů je v sekci I 129, v sekci II 134, v sekci III 79 a sekci IV 34, vrty mají jednotnou délku 291 m a stejný rozestup 25,7 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 7 m, UOS ETE 15,5 m a UOS NJZ 15,5 m. Dispoziční řešení je patrné z Obr.102.

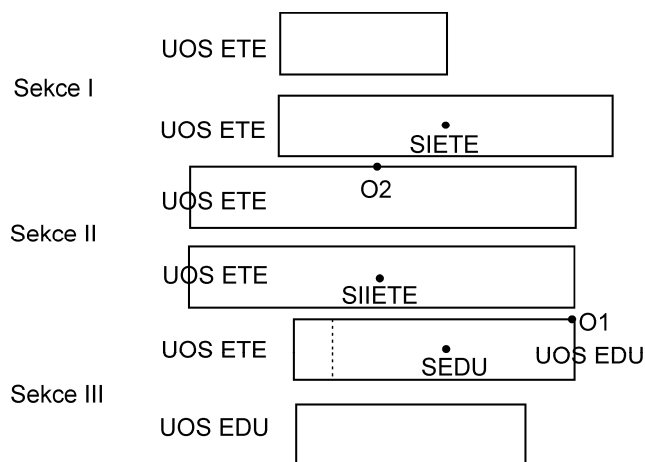
Dispoziční řešení z [26], příloha dispoziční řešení D3, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.103. Protože UOS NJZ nelze s původním výkonem 1221 W ukládat (limitní teplota je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno jeho uložení až po 71,5 letech skladování, kdy jeho tepelný výkon klesne na úroveň 1125 W, tj. UOS ETE. Jelikož geometrické konfigurace UOS NJZ a UOS ETE jsou stejné, jsou ve výpočtu proto uvažovány pouze typy UOS: UOS EDU (celkem 3100 ks) a UOS ETE (4500 ks).



Obr.102 Dispoziční řešení lokality Březový potok, horizontální ukládání, ražba TBM, [26], příloha dispoziční řešení D3

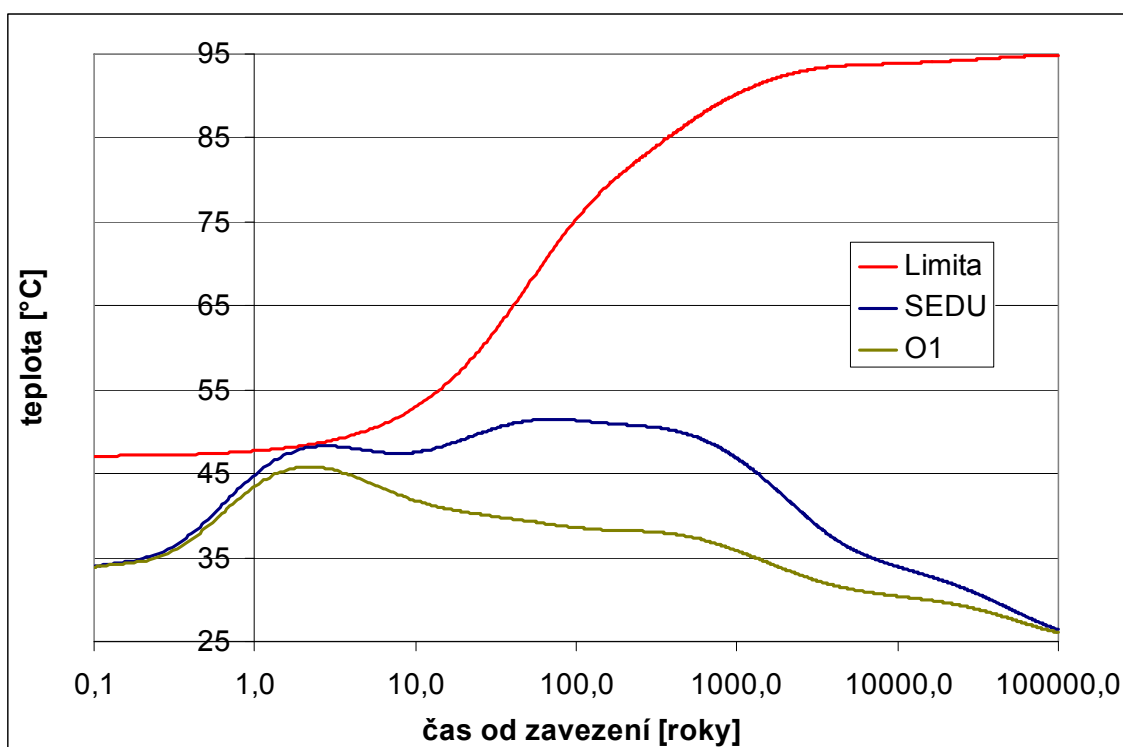
Umístění jednotlivých typů UOS do ukládacích chodeb vychází z návrhu zavážení HÚ v [26] - příloha dispoziční řešení D3. Nejdříve jsou UOS EDU zaplněny všechny vnější ukládací vrty sekce III a poté 39 vnitřních ukládacích vrtů též sekce. Zbylé 3 vrty sekce III jsou již zavezeny UOS ETE. Zbylé části HÚ jsou již zavezeny pouze UOS ETE, sekce II celá, sekce I ve své vnější části pouze ve 34 vrtech. Vrty jsou vždy uvažovány zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS vzhůru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení, která vede ke konzervativním

výsledkům, není v tomto případě HÚ zaplněno celé a např. sekce I je využita pouze z části a sekce IV není zavezena vůbec. Byly počítány průběhy teplot v celkem pěti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.103.



Obr.103 Geometrie teplotního výpočtu lokality Březový potok, horizontální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích: O1 a SEDU, což je střed vnitřní části sekce III zavezené pouze UOS EDU. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.104. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

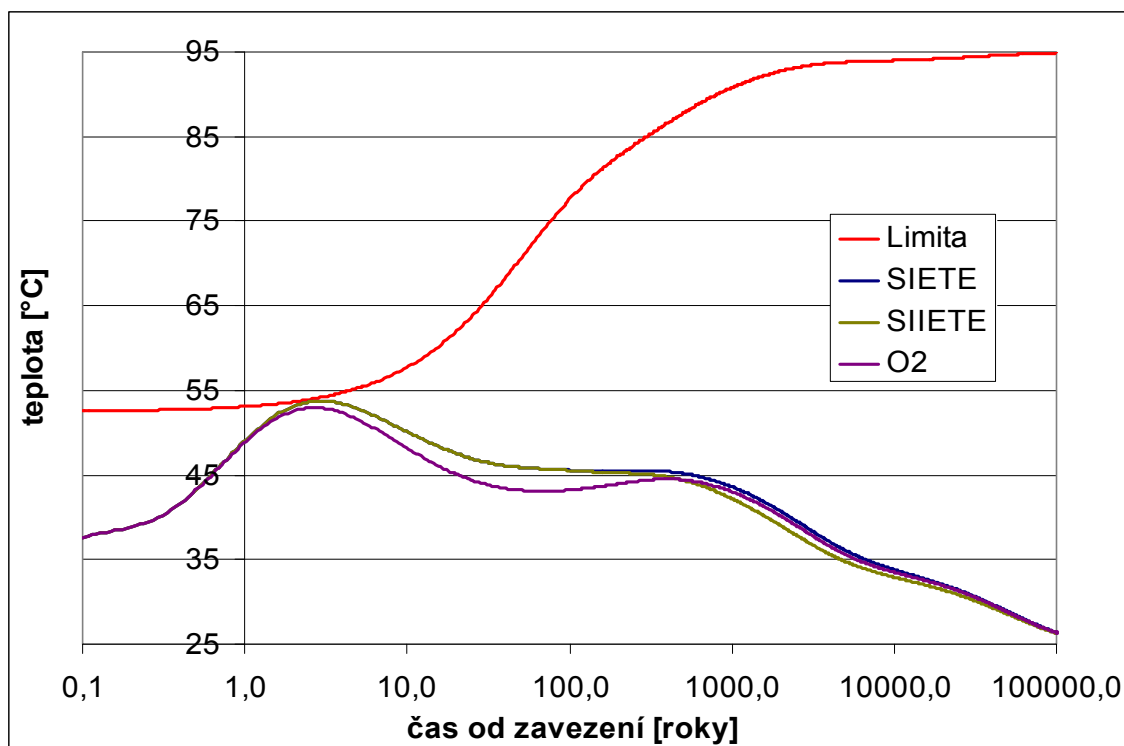


Obr.104 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM

Nejvyšší teploty má středová pozice SEDU. Maximální teplota 51,5 °C je zde dosažena v čase 70 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 20 °C. Nejmenší

rezerva 0,3 °C do limitní teploty nastává u středové pozice SEDU v čase 2,2 roku po zavezení, kdy má pozice teplotu 48,4 °C.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 45,8 °C nastává 2,2 roku po zavezení s rezervou k limitní teplotě 2,6 °C. Teplota poté v celém sledovaném období již jen klesá.



Obr.105 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Březový potok pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS ETE (resp. UOS NJZ s prodlouženou dobou skladování) byly sledovány teploty na třech pozicích: O2, středové SIETE, což je střed plně zavezené části sekce I a SIETE, tj. střed jedné z částí sekce II (viz Obr.103). Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.105. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Průběhy teplot na všech počítaných pozicích jsou si velmi podobné, což platí zejména pro středové pozice SIETE a SIETE. Drobné rozdíly mezi nimi lze pozorovat až v delších časech po zavezení (cca 200 let a více) a i v tomto případě nepřesáhnou 1,8 °C (období 2000 až 2500 let). Maximální teplota je tedy pro obě pozice stejná 53,8 °C v čase 3 roky od zavezení HÚ. Rezerva do limitní teploty v tomto okamžiku je 0,5 °C. Nejmenší rezerva do limitní teploty nastává v roce 2,5 po zavezení a má hodnotu 0,3 °C.

Teploty na okrajové pozici O2 jsou pouze mírně nižší. Maximální teplota je zde 53 °C a nastává 2,7 roku po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 1 °C.

Horizontální ukládání, ražba konvenční

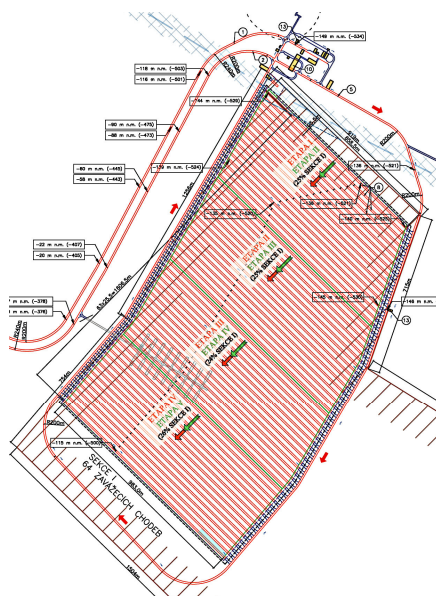
Dispoziční řešení se podle [26], příloha dispoziční řešení D4, téměř shoduje s dispozicí horizontálního ukládání provedeného pomocí ražby TBM (viz předchozí odstavec). Sekce II má shodně 134 ukládacích vrtů, rozdílem mezi oběma variantami jsou rozdíly počtu ukládacích vrtů v sekci I (TBM 129, konvenční 118) a v sekci III (TBM 79, konvenční 74) a rozteče mezi dvěma bloky v sekcích, která se při konvenční ražbě snižuje o 1,25 m (z 87,25 m na 86 m) a o tuto vzdálenost se zvětšuje šířka pásma mezi sekcemi.

Vzhledem k tomu, že se tato varianta ukládání liší oproti variantě s ražbou TBM z předchozího odstavce v podstatě jen jiným zaplněním sekce I, byl proveden odlišný výpočet pouze pro pozice O2 a SIETE (viz Obr.102) na kterých se tato odlišnost projeví nejvíce. U obou pozic jsou až do období cca 100 let rozdíly zcela zanedbatelné. V delším období lze pak pozorovat drobné odlišnosti, ovšem maximální rozdíl mezi oběma variantami ukládání nepřesáhne 1°C a nastává v čase 3300 let mezi výsledky pro středové pozice SIETE.

4.3.6 Lokalita č. 6 - Čertovka

Vertikální ukládání, ražba TBM

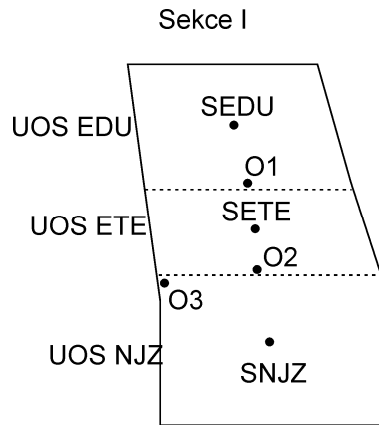
Dispoziční řešení podle [27], příloha dispoziční řešení D1, definuje v HÚ pouze jednu sekci se 64 zavážecími chodbami proměnné délky od 858 m do 983 m. Celková délka zavážecích chodeb je udána jako 61,453 km (viz [27]). Rozestup zavážecích chodeb je stále konstantní 25,5 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5 m, UOS ETE 6,75 m a UOS NJZ 8 m. Navrhované dispoziční řešení je patrné z Obr.106.



Obr.106 Dispoziční řešení lokality Čertovka, vertikální ukládání, ražba TBM, [27], příloha dispoziční řešení D1

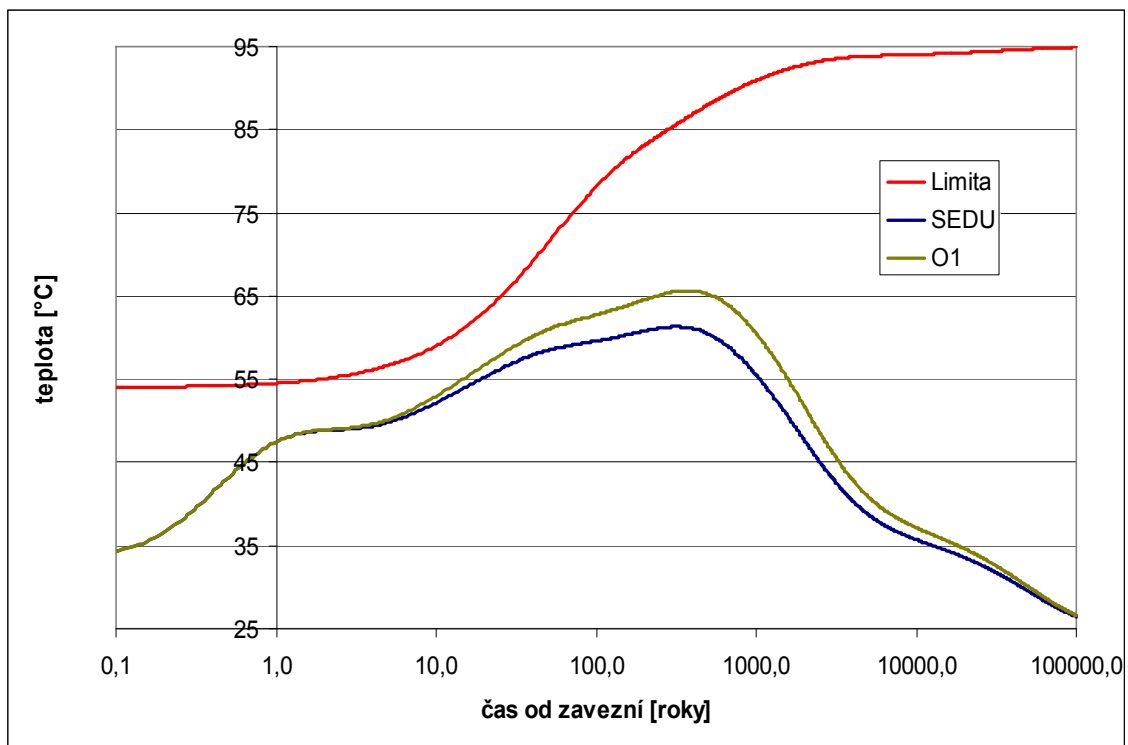
Popsané dispoziční řešení z [27], příloha dispoziční řešení D1, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.107. Vzhledem k návrhu zavážení UOS (viz [27]) je nejdříve zaplněno prvních 19 zavážecích chodeb UOS EDU a poté 13 zavážecích chodeb UOS ETE. UOS NJZ se pak vejde do 23 zavážecích chodeb. Vždy

jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení kvůli konzervativnosti výsledků, není v tomto případě zaplněno všech 64 navrhovaných chodeb. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.107.



Obr.107 Geometrie teplotního výpočtu lokality Čertovka, vertikální ukládání, ražba TBM

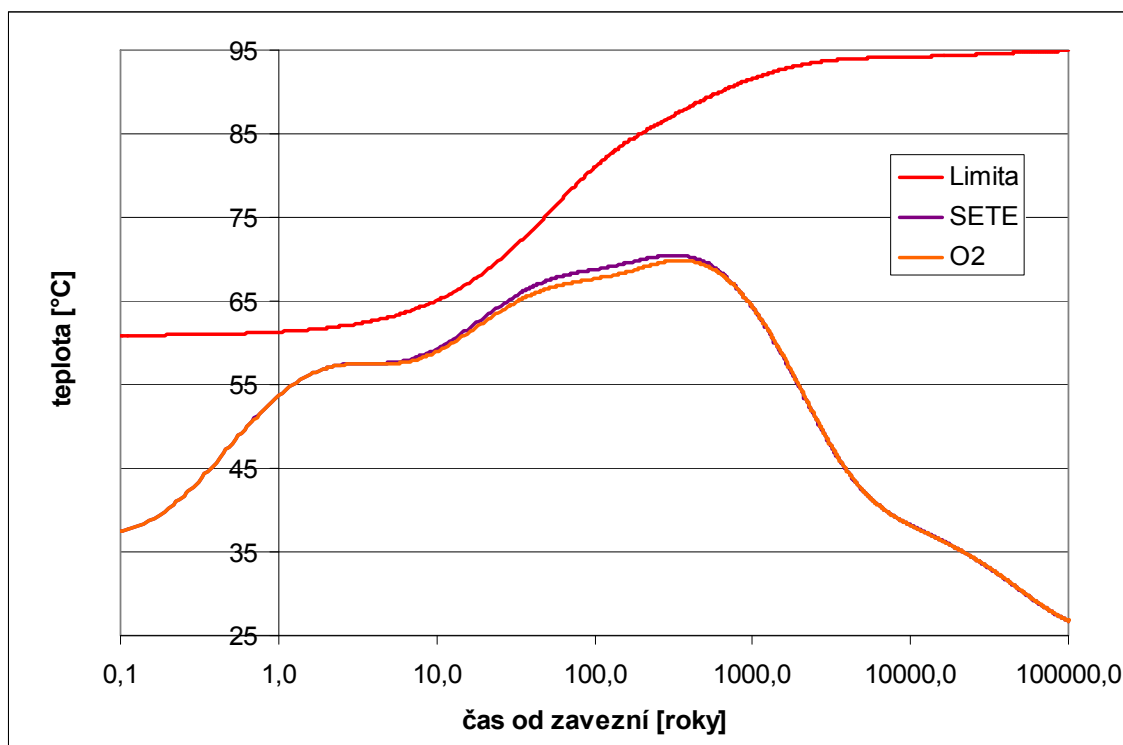
V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích. Pozice O1 se nachází v polovině zavážecí chodby č. 19 u hranice oblastí zavezených UOS EDU a UOS ETE. SEDU je střed oblasti zavezené pouze UOS EDU. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.108. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.



Obr.108 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM

Nejvyšší teploty má v této variantě dispozičního řešení okrajová pozice O1, což je dáno ukládáním v jednom bloku, bez dělení do sekcí, a tedy bezprostřední blízkostí dalších chodeb zavážených UOS ETE. Maximální teplota 65,7 °C je zde dosažena v čase 370 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik již 20,8 °C. Nejmenší rezervu 6,8 °C do limitní teploty má pozice v době 8 roků po zavezení, kdy je zde teplota 52 °C.

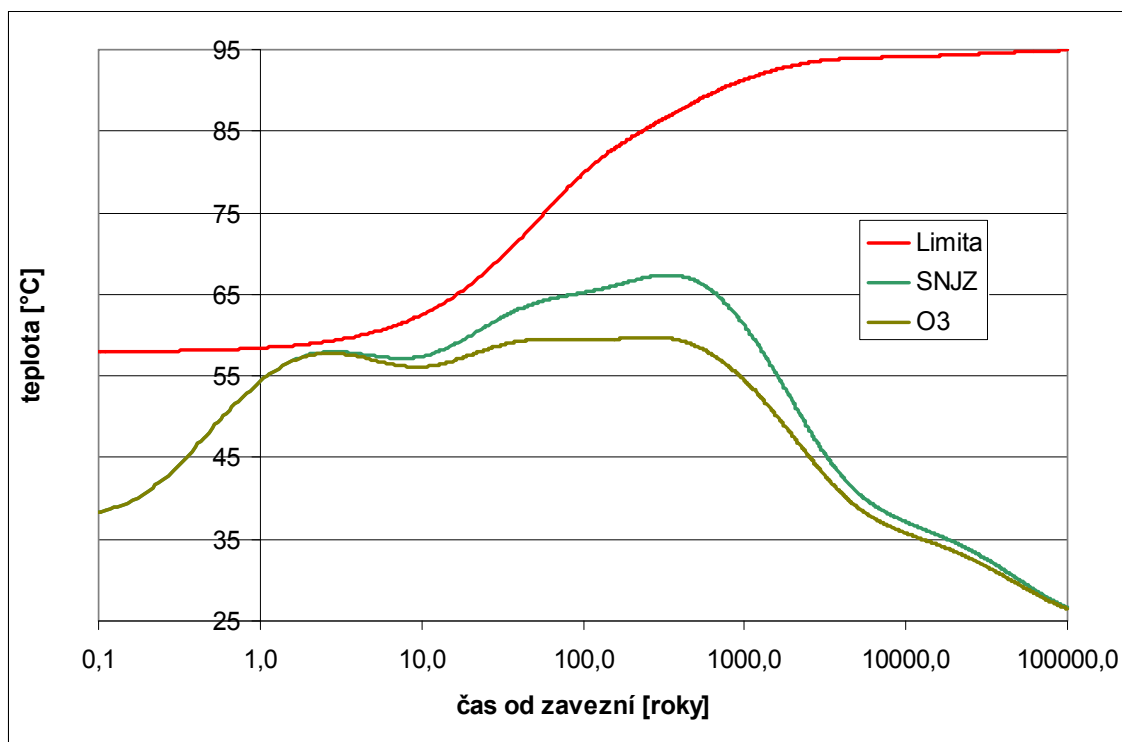
Teploty na středové pozici SEDU jsou mírně nižší. Maximální teplota 61,3 °C nastává 315 let od zavezení s rezervou k limitní teplotě 24,3 °C. Nejmenší rezervu 6 °C do limitní teploty má pozice v době 12 roků po zavezení, kdy je zde teplota 54,1 °C.



Obr. 109 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS ETE byly sledovány teploty opět na dvou pozicích, se značením podle Obr.107. Pozice SETE je střed oblasti zavezené pouze UOS ETE a pozice O2 se nachází v polovině zavážecí chodby č. 32 u hranice oblastí zavezených UOS ETE a UOS NJZ. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.109. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Teploty na obou pozicích jsou si velmi podobné, s mírně nižšími teplotami na pozici O2. Maximální rozdíly dosahují okolo 1 °C. Nejvyšší teplota na pozici SETE je 70,5 °C a nastává zde v čase 320 let od zavezení HÚ. Rezerva do limity je v tento okamžik 16,8 °C. Nejmenší rezervu 5,6 °C do limitní teploty má pozice v době 8,5 roku po zavezení, kdy je zde teplota 58,7 °C.



Obr.110 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM

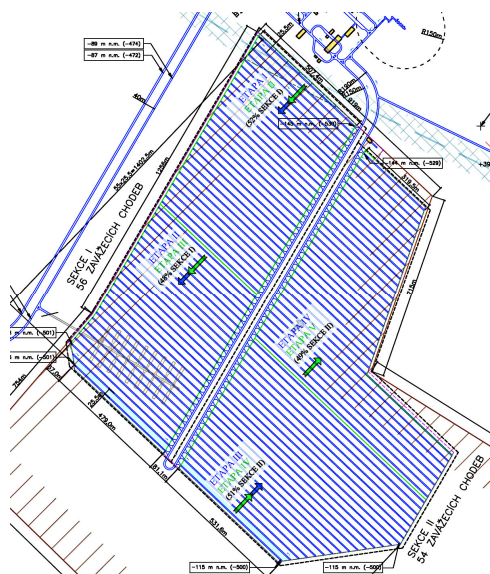
V oblasti zavážené UOS NJZ byly sledovány teploty na dvou pozicích, se značením podle Obr.107. Pozice SNJZ je přibližný střed oblasti zavezené pouze UOS NJZ a pozice O3 se nachází u okraje HÚ v okrajové zavázeční chodbě v blízkosti rozhraní oblastí zavážených – UOS ETE a UOS NJZ. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.110. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty má v této variantě dispozičního řešení středová pozice SNJZ. Maximální teplota 67,4 °C je zde dosažena v čase 340 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 19,4 °C. Nejmenší rezervu 1,2 °C do limitní teploty má pozice v době 2,4 roků po zavezení, kdy je zde teplota 57,9 °C.

Teploty na středové pozici O3 jsou mírně nižší. Maximální teplota 59,8 °C nastává 265 let od zavezení s rezervou k limitní teplotě 25,9 °C. Nejmenší rezervu 1,4 °C do limitní teploty má pozice v době 2,3 roků po zavezení, kdy je zde teplota 57,7 °C.

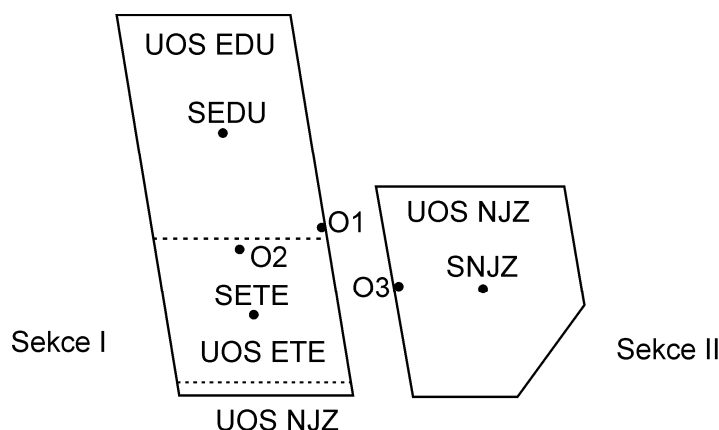
Vertikální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení podle [27], příloha dispozičního řešení D2, rozděluje HÚ na 2 sekce s 56 (sekce I) a 54 (sekce II) zavázečními chodbami. Chodby mají proměnné délky, což platí zejména pro sekci II. Rozestup zavázečních chodeb je všude konstantní 25,5 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5 m, UOS ETE 6,75 m a UOS NJZ 8 m. Navrhované dispoziční řešení je patrné z Obr.111.



Obr.111 Dispoziční řešení lokality Čertovka, vertikální ukládání, konvenční ražba, [27], příloha dispoziční řešení D2

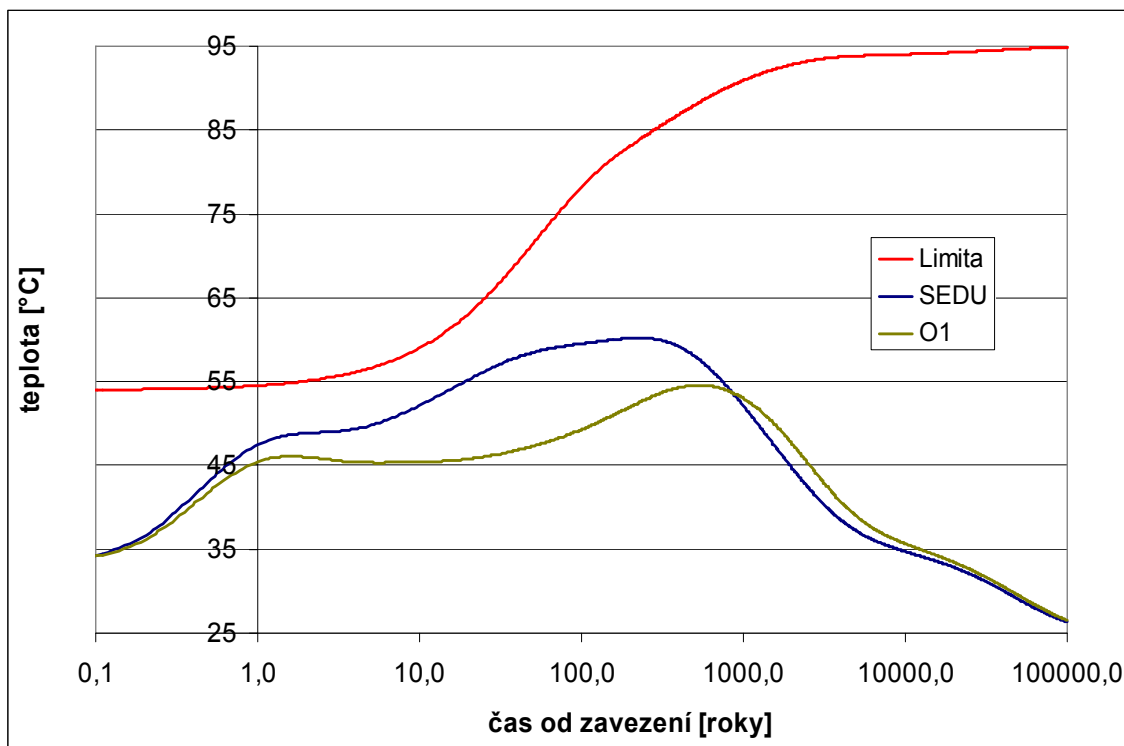
Popsané dispoziční řešení z [27], příloha dispoziční řešení D2, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.112. Vzhledem k přibližně stejné délce zavázečích chodeb v sekci I byla uvažována jejich jednotná délka zjištěná z celkové délky chodeb (viz [27]) a jejich počtu. Návrh zavážení UOS (viz Obr.111) vede k zaplnění nejdříve 31 zavázečích chodeb UOS EDU a poté 24 zavázečích chodeb UOS ETE. Jedna zbývající chodba je obsazena UOS NJZ. Sekce II je zavezena pouze UOS NJZ (celkem 30 zavázečích chodeb proměnné délky). Vždy jsou uvažovány zavázečí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení kvůli konzervativnosti výsledků, není v tomto případě zaplněna celá sekce II. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.112.



Obr.112 Geometrie teplotního výpočtu lokality Čertovka, vertikální ukládání, konvenční ražba

V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích. SEDU je střed oblasti zavezené pouze UOS EDU. Pozice O1 se nachází na okraji sekce I u hranice oblastí zavezených UOS EDU a UOS ETE a na straně přikloněné k sekci II (viz Obr.112). Průběhy

teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.113. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.



Obr.113 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba

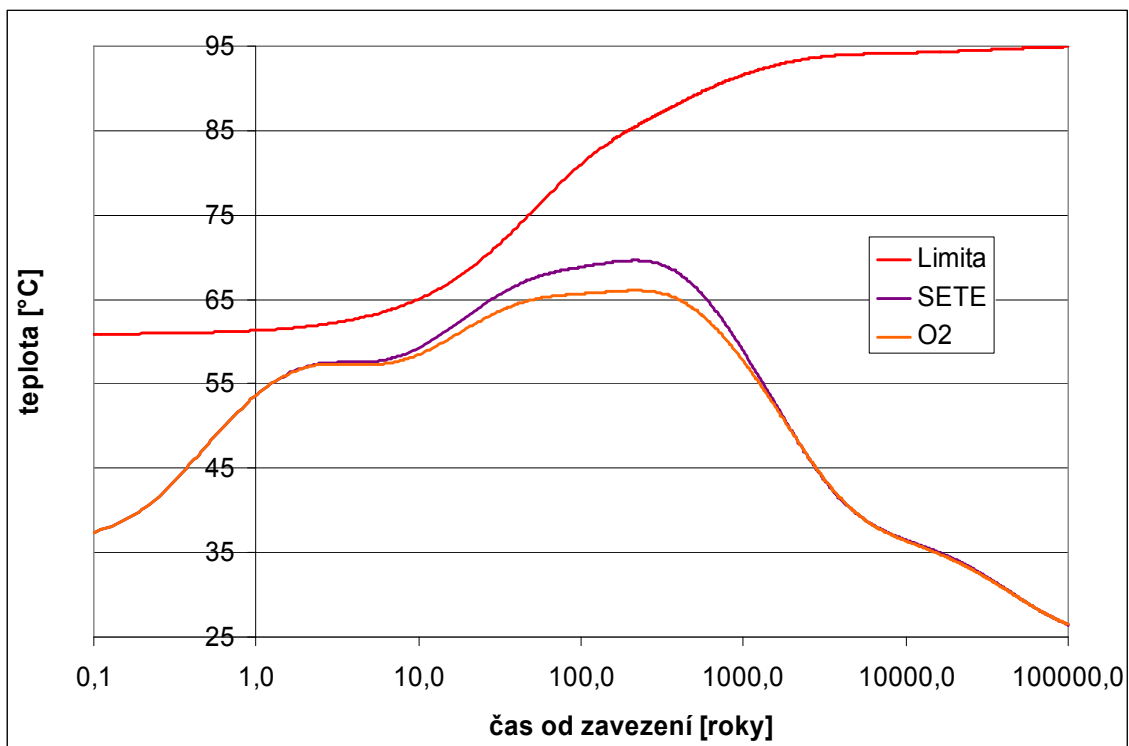
Nejvyšší teploty má v této variantě dispozičního řešení středová pozice SEDU. Maximální teplota 60,2 °C je zde dosažena v čase 230 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik již 23,7 °C. Nejmenší rezervu 6,2 °C do limitní teploty má pozice v době 1,6 roků po zavezení, kdy je zde teplota 48,7 °C.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Maximální teplota 54,7 °C nastává 530 let od zavezení a rezerva k limitní teplotě je v tomto čase 33,7 °C. Nejmenší rezervu 8,7 °C do limitní teploty má tato pozice v době 1,4 roků po zavezení, kdy je zde teplota 46 °C.

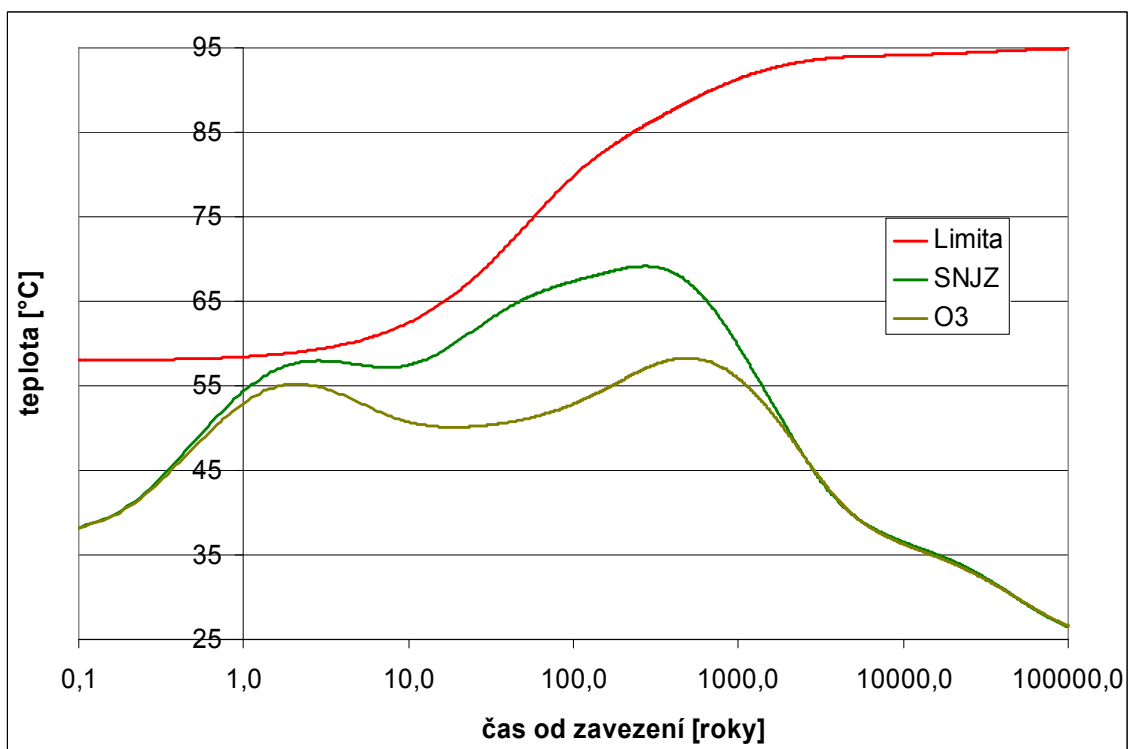
V oblasti zavážené UOS ETE byly sledovány teploty opět na dvou pozicích se značením a umístěním podle Obr.112. Pozice SETE je střed oblasti zavezené pouze UOS ETE a pozice O2 se nachází v polovině zavážecí chodby č. 32 (první zavážená UOS ETE) u hranice oblastí zavezených UOS ETE a UOS EDU. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.114Obr.109. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Průběh teplot na obou pozicích je podobný. Nejvyšší teplota na pozici SETE je 69,6 °C a nastává v čase 220 let od zavezení HÚ. Rezerva do limity je v tento okamžik 15,9 °C. Nejmenší rezervu 4,6 °C do limitní teploty má pozice v době 2,6 roků po zavezení, kdy je zde teplota 57,4 °C.

Pozice O2 má teploty mírně nižší. Maximální teplota 66,1 °C je zde dosažena v čase 220 let od zavezení HÚ. Rezerva do limity je v tento okamžik 19,5 °C. Nejmenší rezervu 4,7 °C do limitní teploty má pozice v době 2,5 roků po zavezení, kdy je na pozici teplota 57,3 °C.



Obr.114 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba



Obr.115 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba

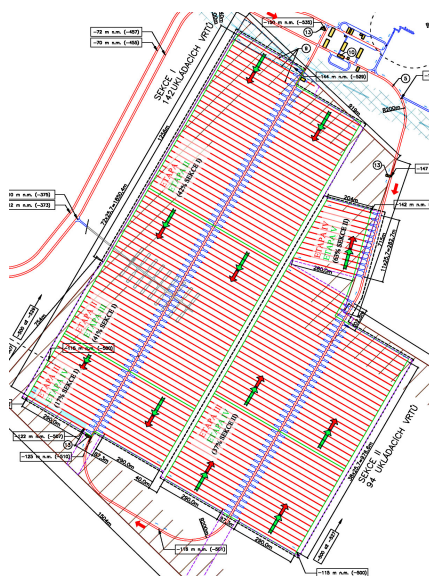
V oblasti zavážené UOS NJZ byly sledovány teploty na dvou pozicích, se značením podle Obr.112. Pozice SNJZ je přibližný střed oblasti zavezené v sekci II. Pozice O3 se nachází ve stejné středové zavážecí chodbě, je však umístěna na okraji sekce II příkloněném k sekci I. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ v grafu na Obr.115. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Vyšší teploty má středová pozice SNJZ. Maximální teplota 69,2 °C je zde dosažena v čase 270 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik 16,6 °C. Nejmenší rezervu 1,2 °C do limitní teploty má pozice v době 2,3 roku po zavezení, kdy je zde teplota 57,8 °C.

Teploty na okrajové pozici O3 jsou nižší a mají rovněž odlišný průběh. Nejvyšší teplota 58,3 °C nastává v druhém píku v čase 500 let od zavezení, kdy je rezerva k limitní teplotě 30,3 °C. Nejmenší rezervu 3,7 °C do limitní teploty má tato pozice v době 1,9 roku po zavezení, kdy je zde teplota 55,1 °C.

Horizontální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení podle [27], příloha dispoziční řešení D3, rozděluje HÚ na 2 sekce, kdy každá je středovým pásem o šířce 87 m s obslužnou chodbou rozdělena ještě na 2 části. Sekce I má celkem 142 ukládacích vrtů (vnější část 73, vnitřní část 69), sekce II pak 94 ukládacích vrtů (vnitřní část 43, vnější část 39, samostatná menší část 12). Vrty mají s výjimkou malé samostatné části sekce II konstantní délku 290 m a vždy stejnou rozteč 25,7 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5,14 m, UOS ETE 8,5 m a UOS NJZ 8,5 m. Navrhované dispoziční řešení je patrné z Obr.116.

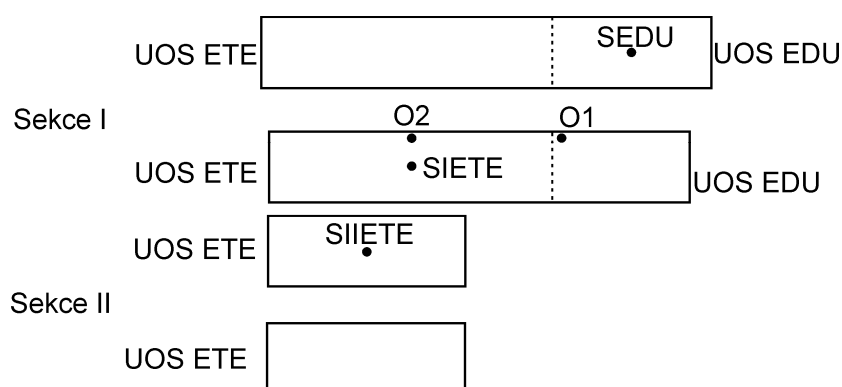


Obr.116 Dispoziční řešení lokality Čertovka, horizontální ukládání, ražba TBM, [27], příloha dispoziční řešení D3

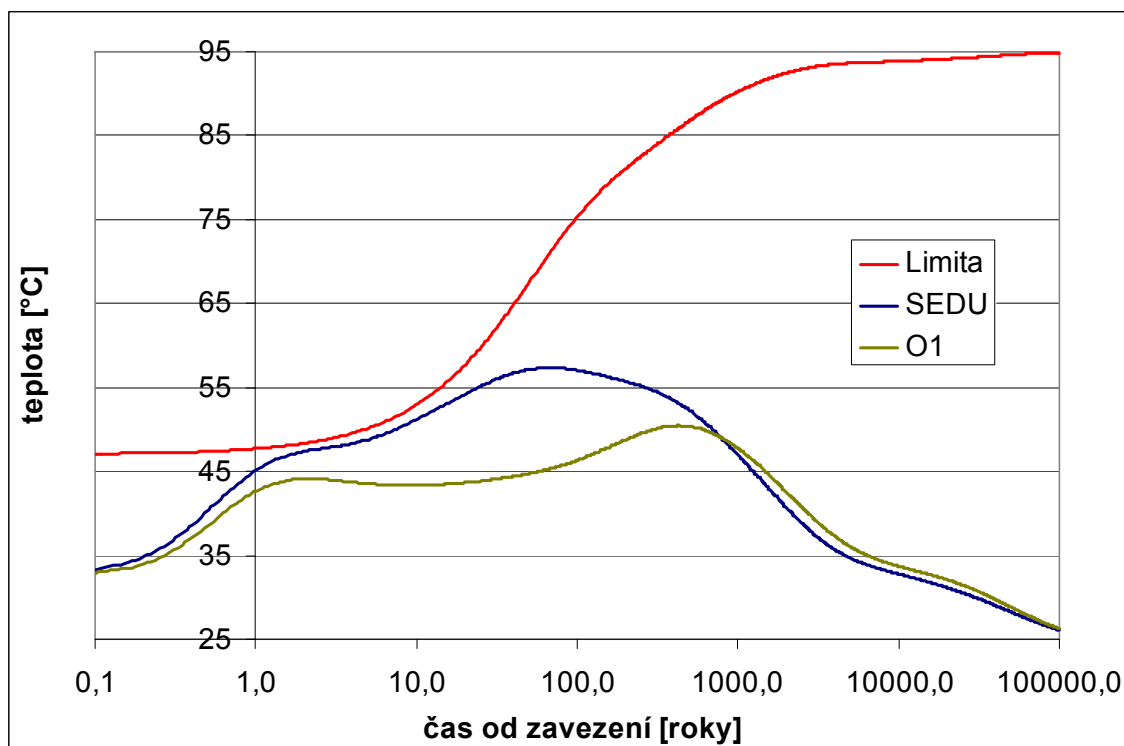
Popsané dispoziční řešení z [27], příloha dispoziční řešení D3, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.117. Protože UOS NJZ nelze s původním výkonem 1221 W ukládat (limitní teplota je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno jeho uložení až po 71,5 letech skladování,

kdy jeho tepelný výkon klesne na úroveň 1125 W, tj. UOS ETE. Jelikož geometrické konfigurace UOS NJZ a UOS ETE jsou stejné, jsou ve výpočtu uvažovány pouze typy UOS: UOS EDU (celkem 3100 ks) a UOS ETE (4500 ks).

Návrh zavážení UOS (viz Obr.116) vede k zaplnění nejdříve 30+27 ukládacích vrtů sekce I UOS EDU a poté 43+42 ukládacích vrtů UOS ETE. Zbylé UOS ETE jsou vloženy do 26+26 ukládacích vrtů sekce II. Vrty jsou vždy zaplněny UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení kvůli konzervativnosti výsledků, není v tomto případě zaplněna celá sekce II. Byly počítány průběhy teplot v celkem pěti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.117.



Obr.117 Geometrie teplotního výpočtu lokality Čertovka, horizontální ukládání, ražba TBM



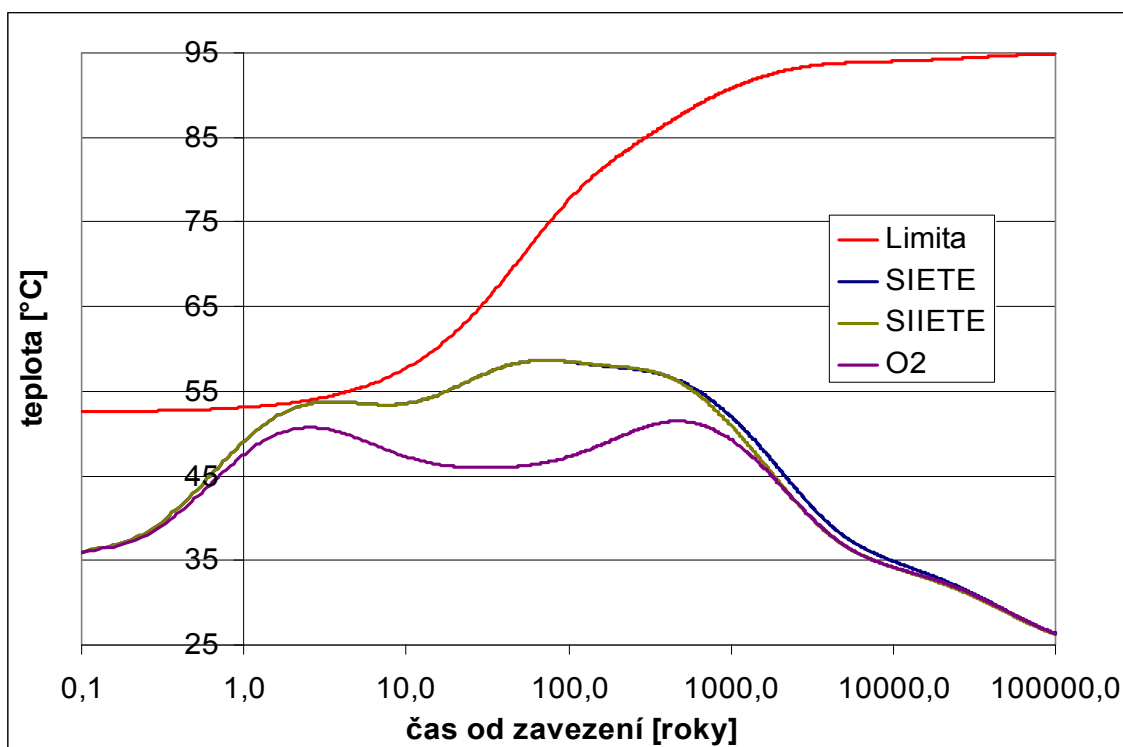
Obr.118 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích. SEDU je střed vnější o 3 vrty větší části zavezené pouze UOS EDU. Pozice O1 se nachází u vnitřního okraje menší části sekce I u hranice oblastí zavezených UOS EDU a UOS ETE (viz Obr.117). Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.118. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Vyšší teploty má středová pozice SEDU. Maximální teplota 57,4 °C je zde dosažena v čase 65 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik již 13,9 °C. Nejmenší rezervu 0,9 °C do limitní teploty má pozice v době 2,1 roku po zavezení, kdy je zde teplota 47,5 °C.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Nejvyšší teplota 50,5 °C nastává 430 let od zavezení HÚ a rezerva k limitní teplotě je v tomto čase 35 °C. Nejmenší rezervu 4,1 °C do limitní teploty má tato pozice v době 1,7 roku po zavezení, kdy je zde teplota 44 °C.

V oblasti zavážené UOS ETE (resp. UOS NJZ, viz výše) byly sledovány teploty na třech pozicích se značením a umístěním podle Obr.117. Pozice SIETE je střed vnitřní části sekce I zavezené pouze UOS ETE a pozice O2 se nachází ve stejném vrtu u UOS u okraje zavážené části. Pozice SIIETE je střed vnitřní části sekce II. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.119. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.



Obr.119 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM

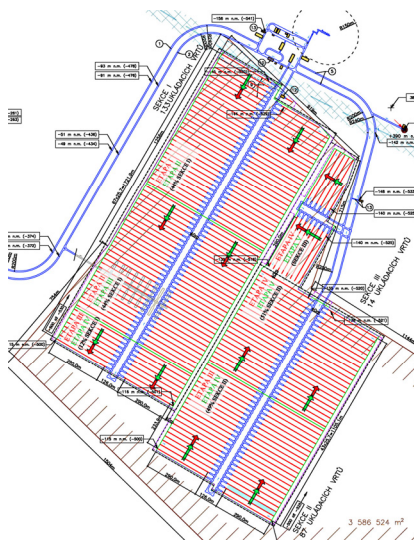
Průběh teplot na obou středových pozicích SIETE a SIIETE je téměř totožný. Nejvyšší teplota je stejná pro obě pozice 58,6 °C a nastává v čase 70 let od zavezení HÚ. Rezerva do

limity je v tento okamžik 15,4 °C. Nejmenší rezervu 0,4 °C do limitní teploty mají pozice v době 2,7 roků po zavezení, kdy je zde teplota 53,6 °C. Rozdíly v teplotách mezi oběma pozicemi nepřesahují 1,6 °C a jsou nejvíce pozorovatelné až v době po 700 let od zavezení HÚ. Mírně vyšší teploty má pozice SIETE, která je ve větší zavezené oblasti a nachází se rovněž blíže středu celého HÚ.

Pozice O2 má teploty i jejich průběh odlišné. Nejvyšší teplota 51,5 °C je zde dosažena v čase 475 let od zavezení HÚ a tvoří tak druhý teplotní pík. Rezerva do limity je zde v tento okamžik 36,1 °C. Nejmenší rezervu 3,1 °C do limitní teploty má pozice v době 2,1 roků po zavezení, kdy je na pozici teplota 50,7 °C. To je také současně nejvyšší teplota prvního teplotního píku.

Horizontální ukládání, ražba konvenční

Dispoziční řešení podle [27], příloha dispoziční řešení D4, rozděluje HÚ na 3 sekce, kdy každá je středovým pásem o šířce 126 m s dvěma obslužnými chodbami rozdělena ještě na 2 části. Sekce I má celkem 133 ukládacích vrtů (vnější část 68, vnitřní část 65), sekce II pak 87 ukládacích vrtů (vnitřní část 43, vnější část 44). Sekce II je oproti sekci I celkově posunuta o 9 ukládacích vrtů. Sekce III je se 14 vrty nejmenší. Všechny vrty mají konstantní délku 290 m a vždy stejnou rozteč 25,7 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5,14 m, UOS ETE 8,5 m a UOS NJZ 8,5 m. Navrhované dispoziční řešení je patrné z Obr.120.

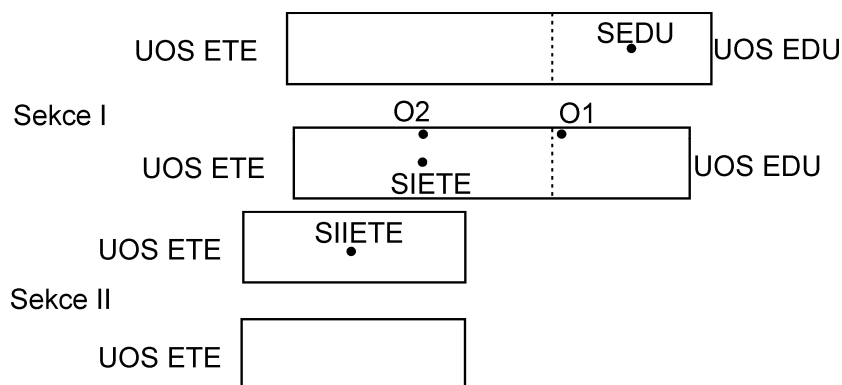


Obr.120 Dispoziční řešení lokality Čertovka, horizontální ukládání, ražba TBM, [27], příloha dispoziční řešení D3

Popsané dispoziční řešení z [27], příloha dispoziční řešení D4, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.121. Protože UOS NJZ nelze s původním výkonem 1221 W ukládat (limitní teplota je v tomto případě překročena při libovolně zvolených roztečích) je přepokládáno jeho uložení až po 71,5 letech skladování, kdy jeho tepelný výkon klesne na úroveň 1125 W, tj. UOS ETE. Jelikož geometrické konfigurace UOS NJZ a UOS ETE jsou stejné, jsou ve výpočtu uvažovány pouze typy UOS: UOS EDU (celkem 3100 ks) a UOS ETE (4500 ks).

Návrh zavážení UOS (viz Obr.120) vede k zaplnění nejdříve 30+27 ukládacích vrtů sekce I UOS EDU a poté 38+38 ukládacích vrtů UOS ETE. Zbylé UOS ETE jsou vloženy do 30+30

ukládacích vrtů sekce II. Vrty jsou vždy zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení kvůli konzervativnosti výsledků, není v tomto případě zaplněna celá sekce II. Byly počítány průběhy teplot v celkem pěti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrné z Obr.121.



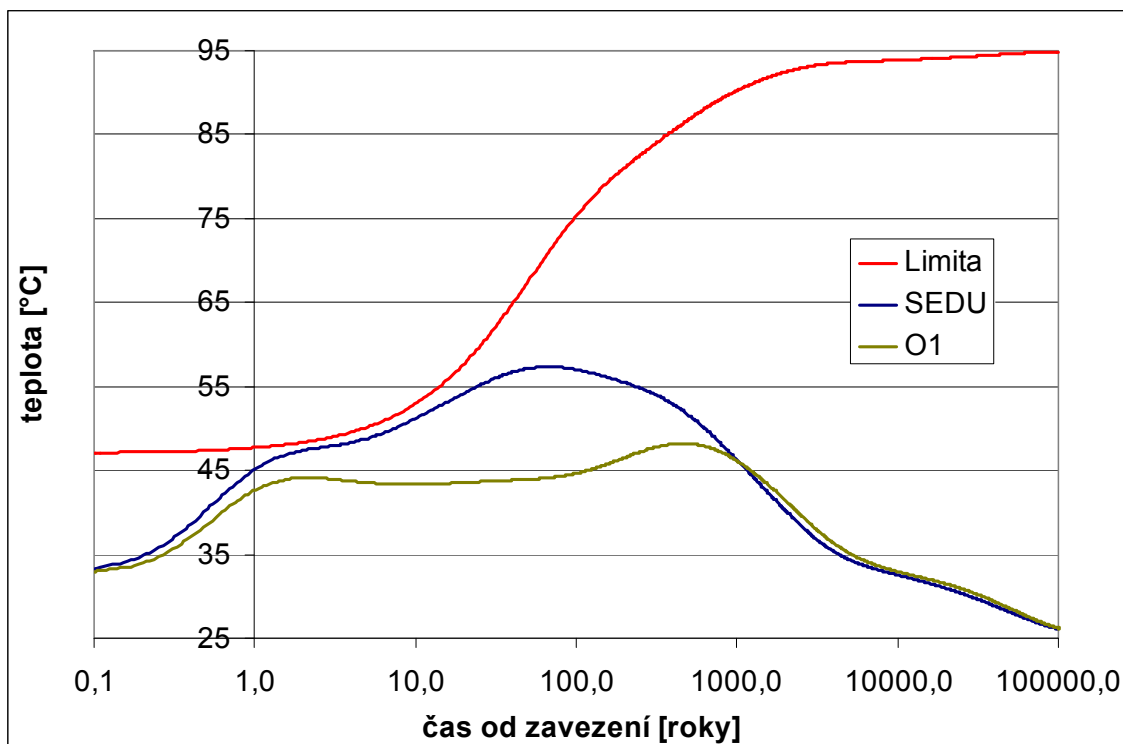
Obr.121 Geometrie teplotního výpočtu lokality Čertovka, horizontální ukládání, konvenční ražba

V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích. SEDU je střed vnější, o 3 vrty větší části zavezené pouze UOS EDU. Pozice O1 se nachází u vnitřního okraje menší části sekce I u hranice oblastí zavezených UOS EDU a UOS ETE (viz Obr.121). Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU v grafu na Obr.122. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

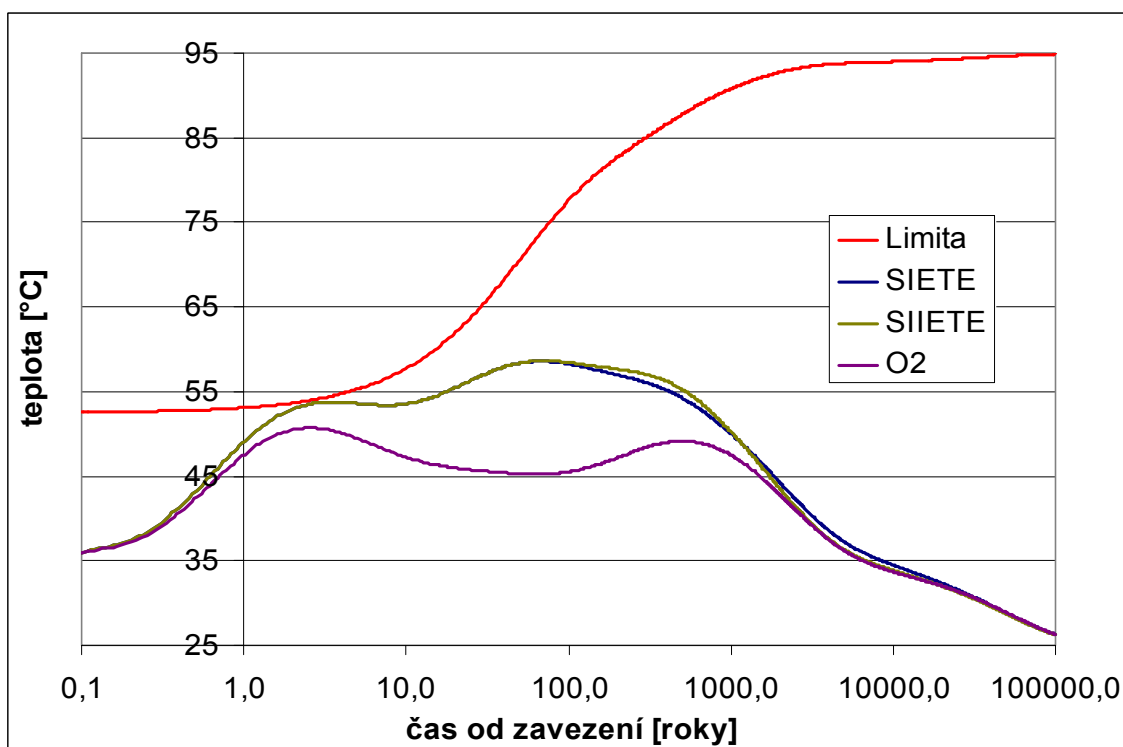
Vyšší teploty má středová pozice SEDU. Maximální teplota 57,3 °C je zde dosažena v čase 65 let od zavezení HÚ, přičemž rezerva do limity je v tento okamžik již 13,4 °C. Nejmenší rezervu 0,9 °C do limitní teploty má pozice v době 2,1 roků po zavezení, kdy je zde teplota 47,5 °C.

Teploty na okrajové pozici O1 jsou nižší. Nejvyšší teplota 48,2 °C nastává 460 let od zavezení HÚ a rezerva k limitní teplotě je v tomto čase 38 °C. Nejmenší rezervu 4,1 °C do limitní teploty má tato pozice v době 1,7 roků po zavezení, kdy je zde teplota 44 °C.

V oblasti zavážené UOS ETE (resp. UOS NJZ, viz výše) byly sledovány teploty na třech pozicích se značením a umístěním podle Obr.121. Pozice SIETE je střed vnitřní části sekce I zavezené pouze UOS ETE a pozice O2 se nachází ve stejném vrtu u UOS u okraje zavážené části. Pozice SIIETE je střed vnitřní části sekce II. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.123. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE (resp. UOS NJZ) k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.




Obr.122 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS EDU – horizontální ukládání, konvenční ražba



Obr.123 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Čertovka pro UOS ETE – horizontální ukládání, konvenční ražba

Průběh teplot na obou středových pozicích SIETE a SIITE je téměř totožný. Nejvyšší teplota je stejná pro obě pozice 58,6 °C a nastává v čase 70 let od zavezení HÚ. Rezerva do

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

limity je v tento okamžik 15,4 °C. Nejmenší rezervu 0,4 °C do limitní teploty mají pozice v době 2,7 roků po zavezení, kdy je zde teplota 53,6 °C. Rozdíly v teplotách mezi oběma pozicemi nepřesahují 1 °C a jsou nejvíce pozorovatelné až v době po 100 let od zavezení HÚ. Ze začátku má mírně vyšší teploty pozice SIETE poté se vyšší teploty přesunou na pozici SIETE.

Pozice O2 má teploty i jejich průběh odlišné. Nejvyšší teplota 49,1 °C je zde dosažena v čase 500 let od zavezení HÚ a tvoří tak druhý teplotní pík. Rezerva do limity je zde v tento okamžik 38,2 °C. Nejmenší rezervu 3,1 °C do limitní teploty má pozice v době 2,1 roků po zavezení, kdy je na pozici teplota 50,7 °C. To je také současně nejvyšší teplota prvního teplotního píku.

4.3.7 Lokalita č. 7 - Magdaléna

Vzhledem k nízkému součiniteli tepelné vodivosti HB v lokalitě Magdaléna není možné ukládat UOS s VJP skladovaným standardní dobu 65 let od vyvezení z AZ (viz popis v kap. 4.2.7). Z uvedeného důvodu je u všech variant ukládání na této lokalitě předpokládáno prodloužení doby skladování pro všechny typy paliv. V případě vertikálních variant ukládání je prodloužení:

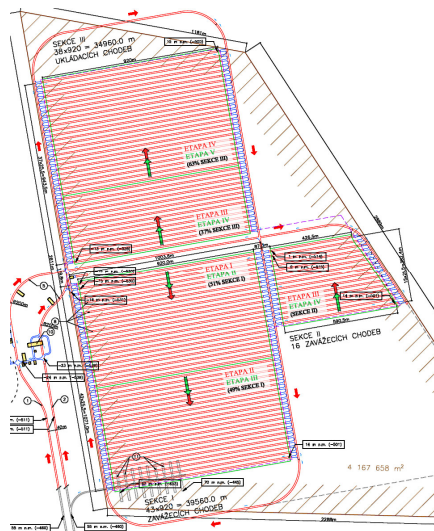
- EDU na 77 let, tepelný výkon UOS EDU v době zavážení do HÚ je 561 W
- ETE na 82,5 let, tepelný výkon UOS ETE v době zavážení do HÚ je 901 W
- NJZ na 82 let, tepelný výkon UOS NJZ v době zavážení do HÚ je 984 W

V případě horizontálních variant ukládání je prodloužení:

- EDU na 76,5 let, tepelný výkon UOS EDU v době zavážení do HÚ je 564 W
- ETE na 79 let, tepelný výkon UOS ETE v době zavážení do HÚ je 940 W
- NJZ na 86,5 let, tepelný výkon UOS NJZ v době zavážení do HÚ je 934 W

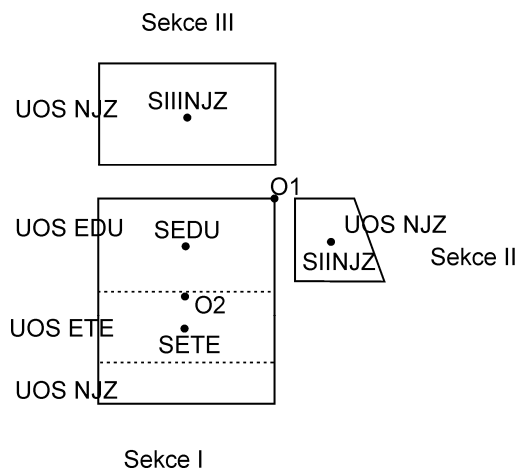
Vertikální ukládání, ražba TBM

Dispoziční řešení podle [28], příloha dispoziční řešení D1, rozděluje HÚ do tří sekcí. Sekce I má 43 zavážecích chodeb, sekce II 16 a sekce III 38 chodeb. Zavážecí chodby sekcí I a III mají jednotnou délku 920 m, sekce II má chodby proměnné délky od 426,5 m do 590,5 m. Rozteč zavážecích chodeb je vždy 25,5 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5,5 m, UOS ETE 8 m a UOS NJZ 13,5 m. Navrhované dispoziční řešení je patrné z Obr.124.



Obr.124 Dispoziční řešení lokality Magdaléna, vertikální ukládání, ražba TBM, [28], příloha dispoziční řešení D1

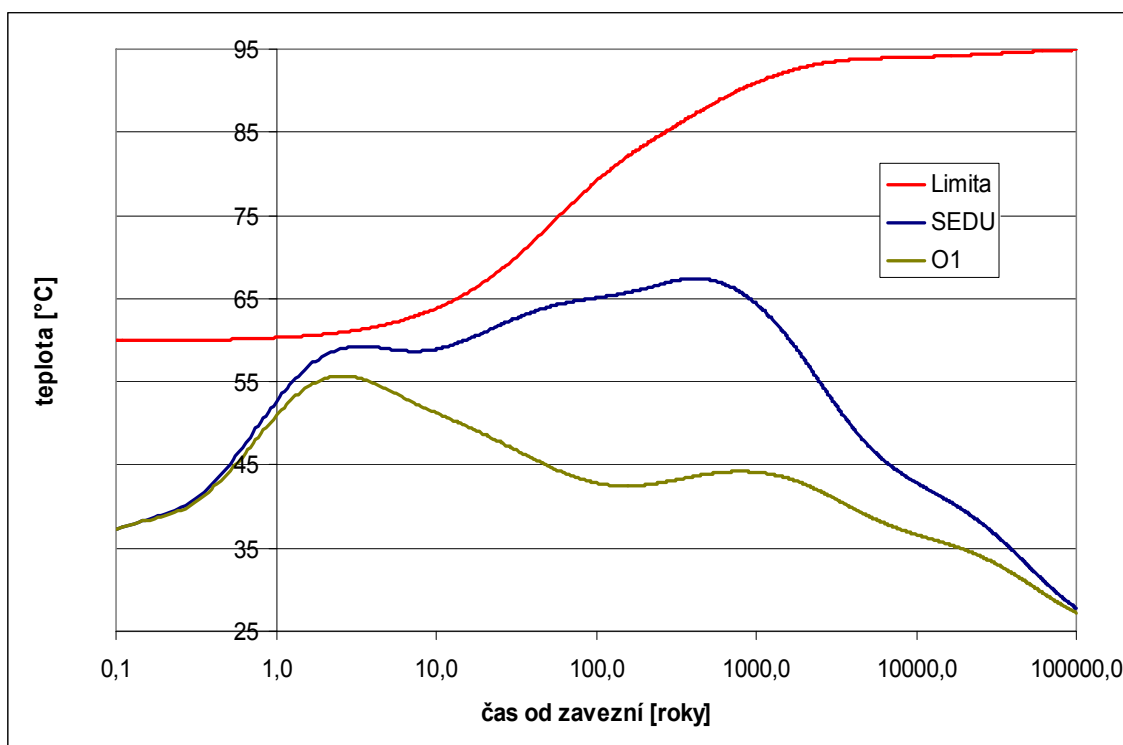
Popsané dispoziční řešení z [28], příloha dispoziční řešení D1, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.125. Vzhledem k návrhu zavážení UOS (viz [28]) je nejdříve zaplněno prvních 19 zavázečních chodeb sekce I UOS EDU a poté 16 zavázečních chodeb UOS ETE. UOS NJZ se pak obsadí v sekci I 8 zavázečních chodeb. Celá sekce II a 23 zavázečních chodeb sekce III směrem od středové části HÚ je pak zaplněno UOS NJZ. Vždy jsou uvažovány zavázeční chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervám dispozičního návrhu a snaze o kompaktnost zavážení kvůli konzervativnosti výsledků, není v tomto případě zaplněna celá sekce III. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.125.



Obr.125 Geometrie teplotního výpočtu lokality Magdaléna, vertikální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích. Rohová pozice O1 byla vybrána jako pozice se značným ovlivněním teplot od okolních sekcí. Pozice SEDU je střed oblasti zavezené v sekci I pouze UOS EDU. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU a prodlouženou dobu skladování VJP v grafu na Obr.126. Z křivek je

patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

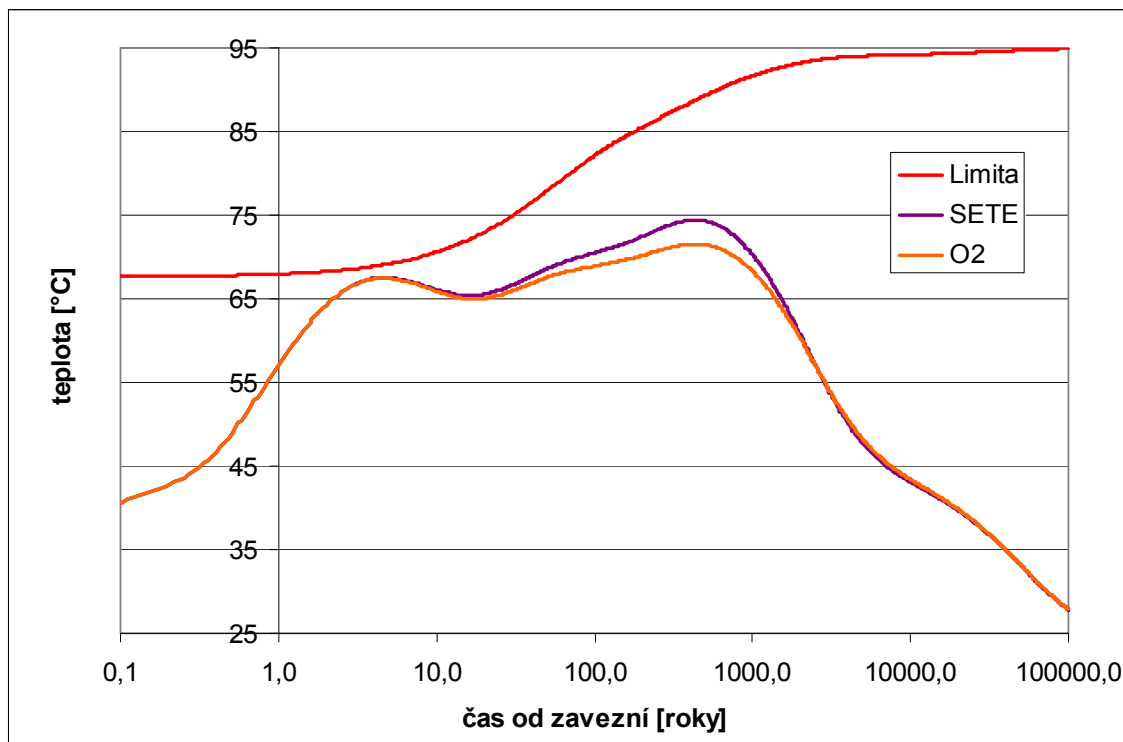


Obr.126 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS EDU – vertikální ukládání, ražba TBM

Nejvyšší teploty v oblasti zavezené UOS EDU má středová pozice SEDU. Maximální teplota 67,4 °C je zde dosažena v čase 410 let od zavezení, přičemž rezerva do limitní teploty je v tento okamžik 19,7 °C. Nejmenší rezervu 1,9 °C do limitní teploty má středová pozice SEDU v době 2,8 roků po zavezení, kdy je na tomto místě teplota 59,1 °C.

Teploty na rohové pozici O1 jsou výrazně nižší. Nejvyšší teplota 55,7 °C zde nastává již 2,6 roků po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 5,3 °C. Nejmenší rezerva 5,2 °C je dosažena již o chvíli dříve v čase 2,3 roků. Z výše zmíněného maxima pak teploty po většinu času již jen klesají. Velmi mírný nárůst teplot je vidět pouze v období 160 – 800 let, čímž se projevuje vliv sekce II a sekce III.

V oblasti zavážené UOS ETE byly sledovány teploty na dvou pozicích se značením a umístěním podle Obr.125. Pozice SETE je střed oblasti sekce I zavezené pouze UOS ETE a pozice O2 se nachází v polovině zavážené chodby č. 20 (první zavážená UOS ETE) u hranice oblastí zavezených UOS ETE a UOS EDU. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE a prodlouženou dobu skladování VJP v grafu na Obr.127. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.



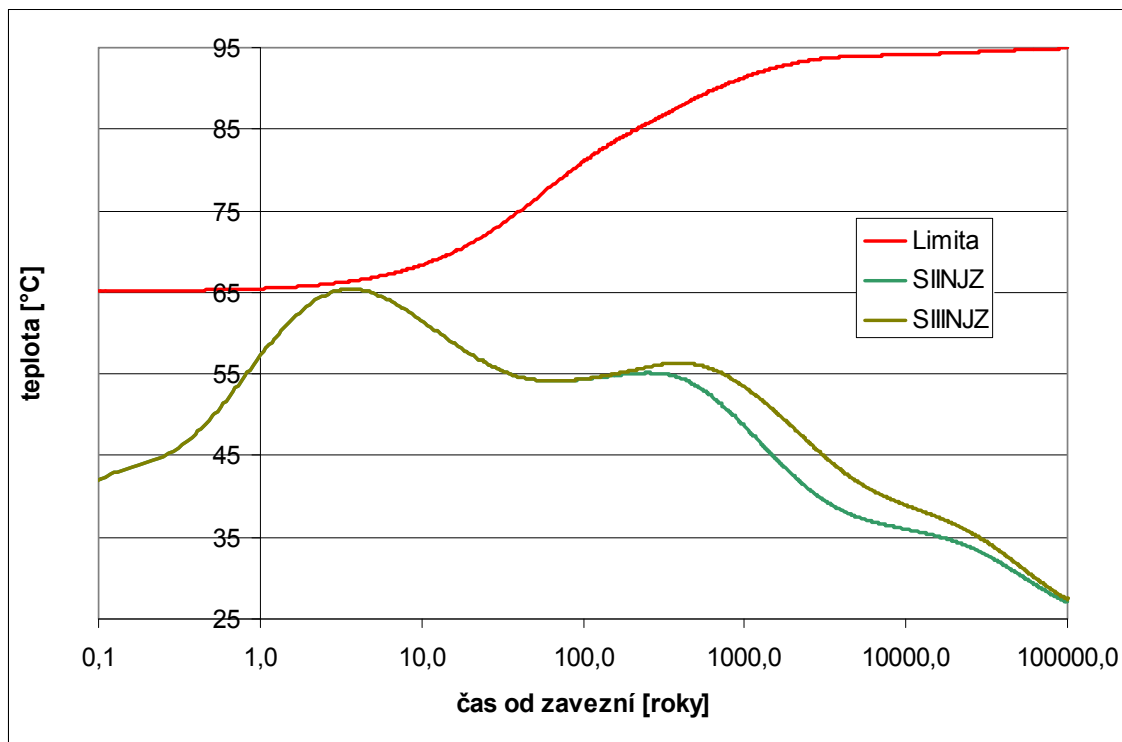
Obr.127 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS ETE – vertikální ukládání, ražba TBM

Průběh teplot na obou pozicích je podobný s mírně vyššími teplotami u pozice SETE. Maximální teplota na pozici SETE je 74,4 °C a nastává v čase 430 let od zavezení HÚ. Rezerva do limitní teploty je v tento okamžik 14,3 °C. Nejmenší rezervu 1,5 °C do limitní teploty má pozice v době 4,1 roků po zavezení, kdy je zde teplota 67,4 °C.

Pozice O2 má až do doby cca 10 roků od zavezení teploty (a tedy i rezervu k limitní teplotě) přibližně stejné. V pozdějším období až do doby 2500 let jsou pak teploty mírně nižší. Maximální teplota zde dosahuje 71,6 °C, čemuž odpovídá rezerva 17,1 °C. V pozdějším období jsou teploty s pozicí SETE opět srovnatelné.

V oblasti zavážené UOS NJZ byly sledovány teploty na dvou středových pozicích sekce II a sekce III. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ a prodlouženou dobu skladování VJP v grafu na Obr.128. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezení UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

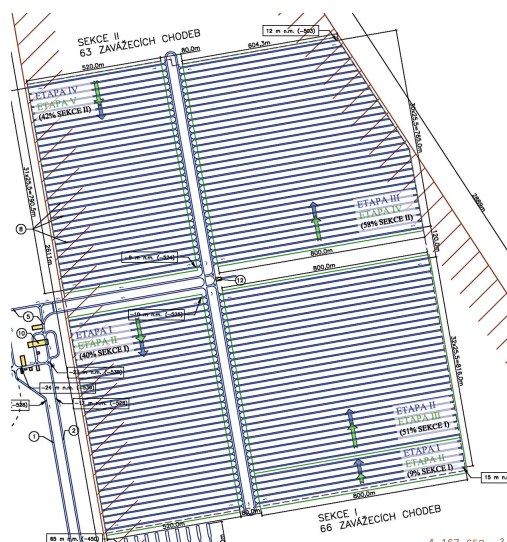
Průběh teplot na obou pozicích je v počátečním období do cca 100 let od zavezení stejný. Maximální teplota 65,4 °C zde nastává 3,4 roků od zavezení a tento okamžik je současně dobou s nejmenší rezervou do limitní teploty 0,9 °C. Rozdíly teplot mezi oběma pozicemi v pozdějším období souvisí především s velikostí sekcí a pozice SIINJZ má proto mírně vyšší teploty.



Obr.128 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS NJZ – vertikální ukládání, ražba TBM

Vertikální ukládání, ražba konvenční

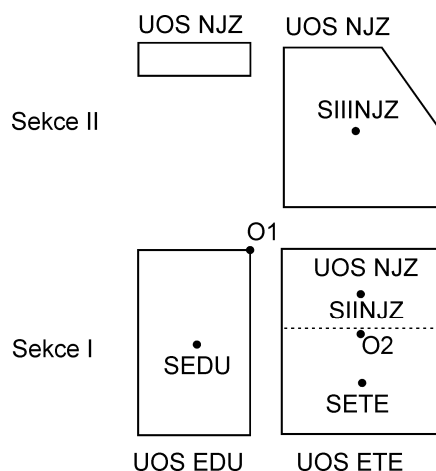
Dispoziční řešení podle [28], příloha dispoziční řešení D2, rozděluje HÚ do dvou sekcí. Sekce I má 66 zavázečích chodeb, polovina z nich je o délce 520 m a druhá polovina 800 m. Sekce II obsahuje 63 zavázečích chodeb. 13 z nich o délce 800 m, 18 proměnné délky mezi 800 a 604 m a 32 zavázečích chodeb v levé části o délce 520 m. Mezi sekcemi je prostor o šíři 120 m a mezi pravými a levými částmi sekce prostor 80 m. Rozteč zavázečích chodeb je vždy 25,5 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 5,5 m, UOS ETE 8 m a UOS NJZ 13,5 m. Navrhované dispoziční řešení je patrné z Obr.129.



Obr.129 Dispoziční řešení lokality Magdaléna, vertikální ukládání, konvenční ražba, [28], příloha dispoziční řešení D2



Popsané dispoziční řešení z [28], příloha dispoziční řešení D2, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.130. Vzhledem k návrhu zavážení UOS je nejdříve zaplněna levá strana sekce I s chodbami o délce 520 m. Do oblasti se vejdou UOS EDU. V pravé části sekce I je směrem z vnějšku zavezeno nejdříve 18 zavážecích chodeb UOS ETE a zbylých 15 pak UOS NJZ. UOS NJZ pak rovněž obsadí v sekci II celou větší pravou část a 3 zavážecí chodby z levé části. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích, reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.130.

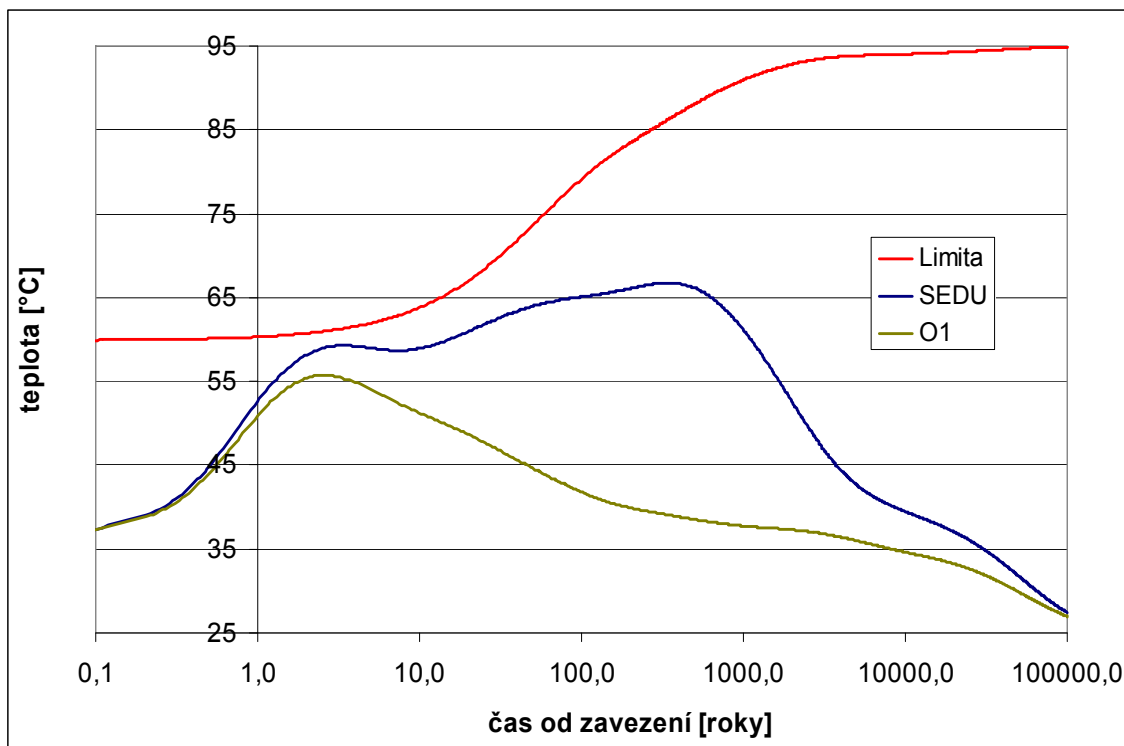


Obr.130 Geometrie teplotního výpočtu lokality Magdaléna, vertikální ukládání, konvenční ražba

V oblasti zavážené UOS EDU byly sledovány teploty na dvou pozicích. SEDU je střed oblasti, rohová pozice O1 byla vybrána jako pozice se značným ovlivněním od okolních sekcí. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS EDU a prodlouženou dobu skladování VJP v grafu na Obr.131. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS EDU k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Nejvyšší teploty v oblasti zavezené UOS EDU má středová pozice SEDU. Maximální teplota 66,7 °C je dosažena v čase 340 let od zavezení, přičemž rezerva do limitní teploty je zde v tento okamžik 19,4 °C. Nejmenší rezervu 1,9 °C do limitní teploty má středová pozice SEDU v době 2,8 roků po zavezení, kdy je na tomto místě teplota 59,2 °C.

Teploty na rohové pozici O1 jsou výrazně nižší. Nejvyšší teplota 55,7 °C zde nastává již 2,6 roků po zavezení. Rezerva k limitní teplotě je v tuto chvíli 5,3 °C. Nejmenší rezerva 5,2 °C je dosažena již o chvíli dříve v čase 2,3 roků. Z výše zmíněného maxima pak teploty již jen klesají.

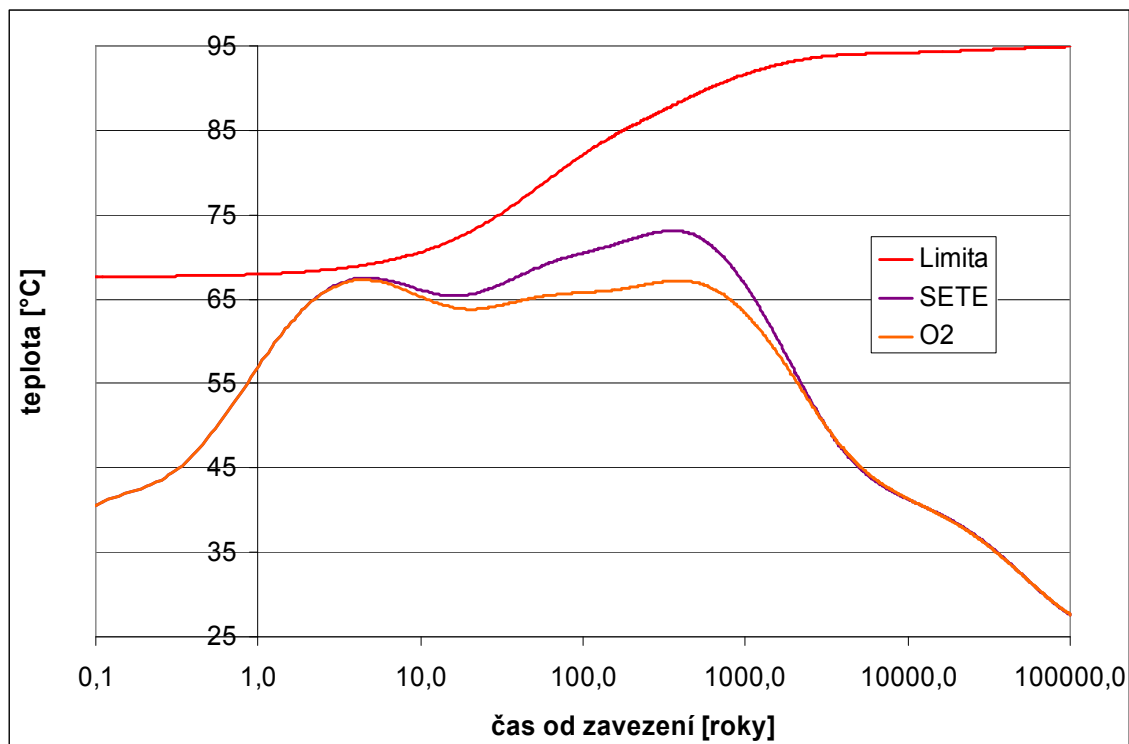


Obr.131 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS EDU – vertikální ukládání, konvenční ražba

V oblasti zavezené UOS ETE byly sledovány teploty na dvou pozicích se značením a umístěním podle Obr.130. Pozice SETE je střed oblasti zavezené pouze UOS ETE. Pozice O2 se nachází v polovině zavážecí chodby u hranice s oblastí zavezenou UOS NJZ. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE v grafu na Obr.132. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Základní průběh teplot na obou pozicích je podobný. Středová pozice SETE má však zpravidla vyšší teploty. Maximální teplota na pozici SETE je 73,1 °C a nastává v čase 350 let od zavezení HÚ. Rezerva do limitní teploty je v tento okamžik 14,8 °C. Nejmenší rezervu 1,5 °C do limitní teploty má tato pozice v době 4,1 roků po zavezení, kdy je zde teplota 67,4 °C.

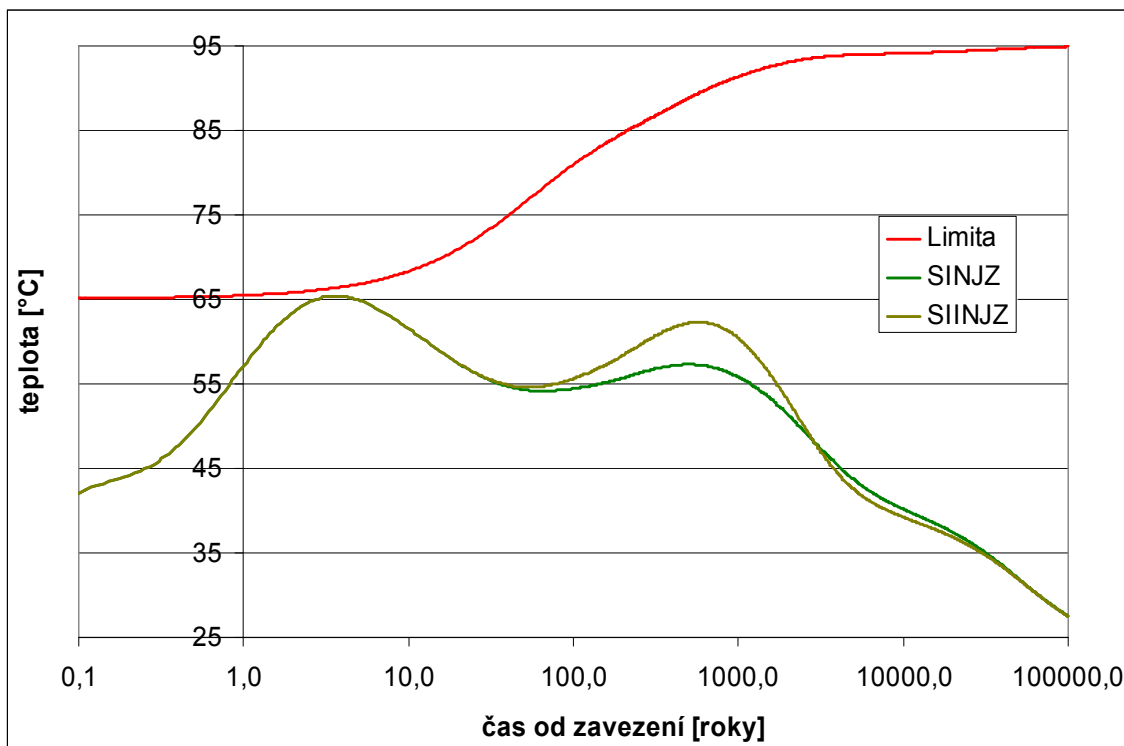
Pozice O2 má teploty mírně nižší a to již v období několika let po zavezení. Např. minimální rezerva k limitní teplotě, která nastává ve stejné době 4,1 roků po zavezení, má u této pozice hodnotu 1,6. Maximální teplota zde nastává v době 4,5 roků a má hodnotu 67,3 °C. Poté teploty mírně klesají lehce pod 64 °C a znovu narůstají na 67,2 v čase 380 let od zavezení. V pozdějším období od cca 3000 let jsou pak teploty mírně vyšší.



Obr.132 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS ETE – vertikální ukládání, konvenční ražba

V oblasti zavážené UOS NJZ byly sledovány teploty na dvou středových pozicích. SINJZ je středem oblasti zavezené UOS NJZ v sekci I, pozice SIINJZ je pak přibližným středem nepravidelné oblasti zavezené UOS NJZ v sekci II. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ a prodlouženou dobu skladování VJP v grafu na Obr.133. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Průběh teplot na obou pozicích je v počátečním období do cca 40 let od zavezení stejný. Maximální teplota obou pozic je 65,4 °C a nastává zde 3,6 roků od zavezení. V tento okamžik je rezerva k limitní teplotě 1 °C. Nejmenší rezerva do limitní teploty 0,9 °C nastává o chvíli dříve v době 3,3 roků. Od cca 65 roků po zavezení začíná teplota na pozici SIINJZ více stoupat až k hodnotě 62,3 °C a tvoří tak druhý teplotní pík. Na pozici SINJZ je nárůst pouze do hodnoty 57,3 °C. Uvedená skutečnost je dána větším počtem UOS NJZ v sekci II. V pozdějším období (od cca 2500 let) se teploty srovnávají a naopak pozice SINJZ začíná mít na určitou dobu teplotu vyšší.



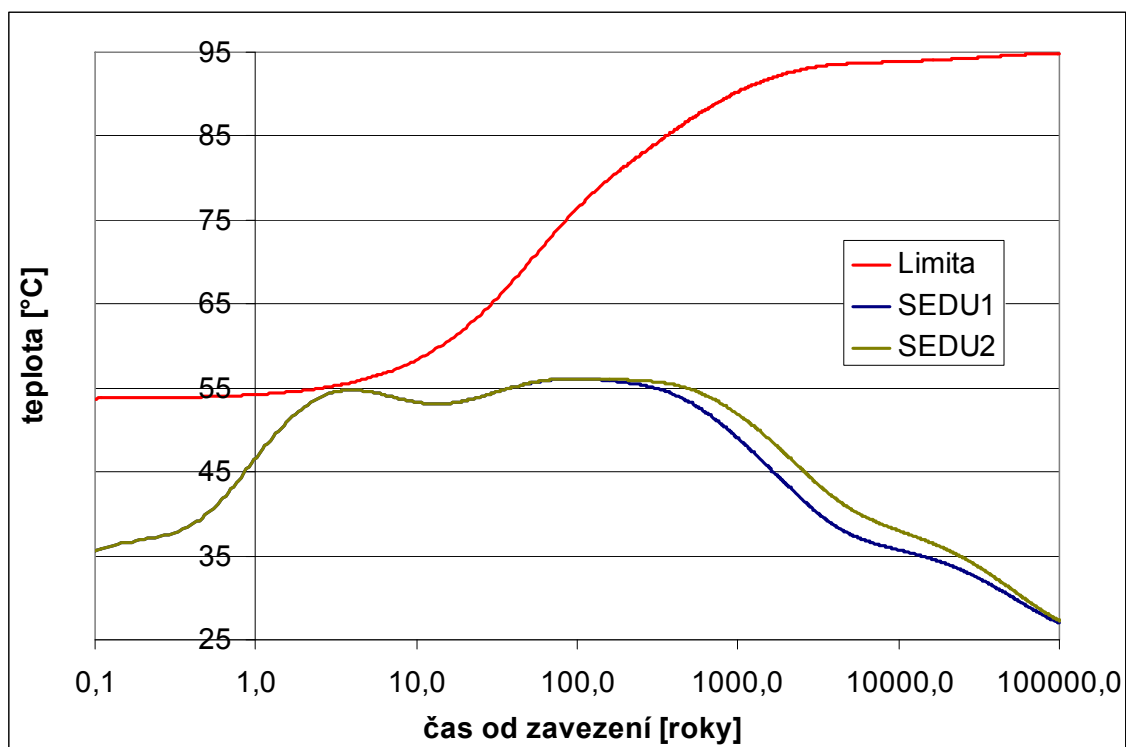
Obr.133 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS NJZ – vertikální ukládání, konvenční ražba

Horizontální ukládání, ražba TBM

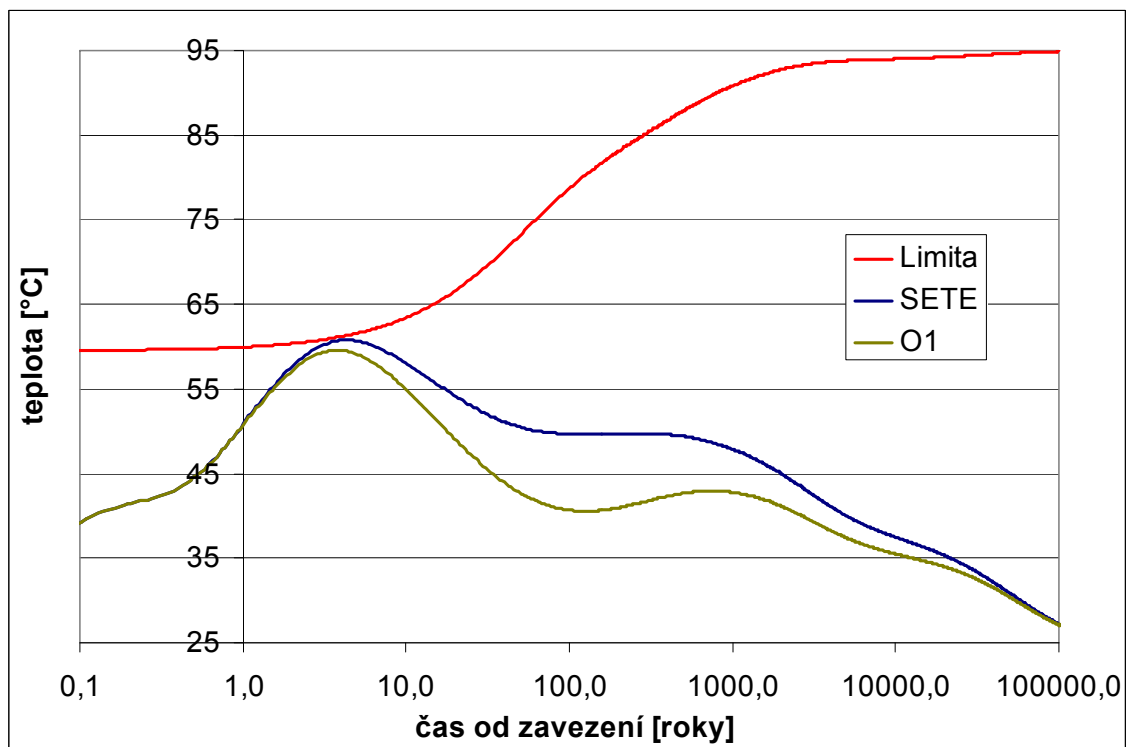
Dispoziční řešení podle [28], příloha dispoziční řešení D3, rozděluje HÚ do pěti sekcí a každou z nich pak ještě koridorem o šířce 87 m s obslužnou chodbou na dvě další části. Mezi sekcemi je prostor o šíři 40 m. Jednotlivé části mají různý počet ukládacích vrtů o vždy stejné délce 290 m. Sekce I má 91 ukládacích vrtů, sekce II 105, sekce III 40, sekce IV 49 a sekce V 91 ukládacích vrtů. Rozteč ukládacích vrtů je vždy 25,7 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 7 m, UOS ETE 15 m a UOS NJZ 15 m. Navrhované dispoziční řešení je patrné z Obr.134.

Popsané dispoziční řešení z [28], příloha dispoziční řešení D3, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.135. Vzhledem k návrhu zavážení UOS je nejdříve zaplněna levá část sekce I a 33 vrtů pravé části téže sekce UOS EDU. V pravé vnější části sekce I jsou pak ještě umístěny do 15 vrtů UOS ETE. Sekce II má levou část zaplněnu zcela UOS ETE a v pravé části je těmito UOS zaplněno ještě 29 vrtů. Zbýlých 25 vrtů je zavezeno UOS NJZ. Zbylé sekce jsou zaplněny UOS NJZ. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervě dispozičního návrhu a kompaktnosti zavezení je sekce V využita již jen z části a je v ní zavezeno jen 29 vrtů. Byly počítány průběhy teplot v celkem šesti pozicích, reprezentujících zajímavá místa v HÚ. Jejich značení a poloha je patrná z Obr.135.

pozici SEDU2 pomalejší pokles teplot, což je dáno dvěma faktory. Jde o větší oblast s větším počtem zavezených UOS (včetně UOS ETE) a celá oblast se nachází blíže je středu HÚ.



Obr.136 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS EDU – horizontální ukládání, ražba TBM

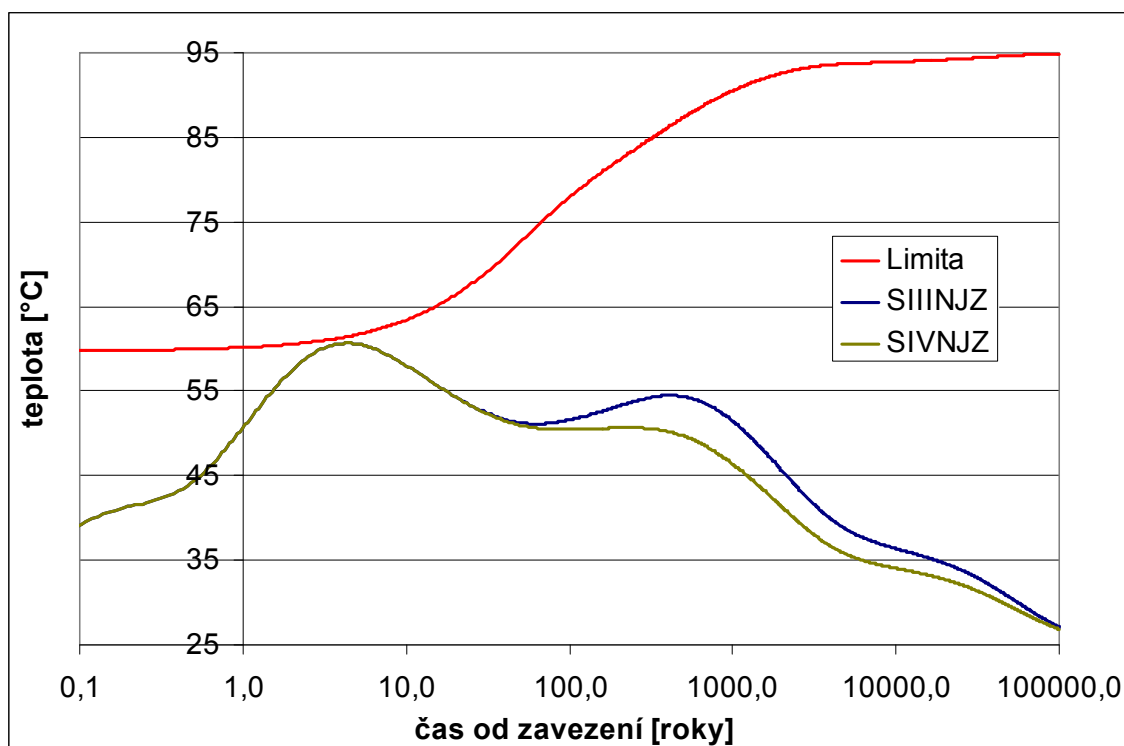


Obr.137 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS ETE – horizontální ukládání, ražba TBM

V oblasti zavezené UOS ETE byly sledovány teploty na dvou pozicích se značením a umístěním podle Obr.135. Pozice SETE je střed oblasti, rohová pozice O1 byla vybrána jako pozice se značným ovlivněním od okolních sekcí. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS ETE a prodlouženou dobu skladování VJP v grafu Obr.137. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS ETE k překročení limitní teploty HB pro tento UOS.

Středová pozice SETE má vyšší teploty. Maximální teplota na pozici SETE je 60,8 °C a nastává v čase 4,3 roků od zavezení HÚ. Rezerva do limitní teploty je v tento okamžik 0,5 °C. Nejmenší rezervu 0,4 °C do limitní teploty má tato pozice v době 3,7 roků po zavezení, kdy je zde teplota 60,7 °C.

Pozice O1 má teploty nižší, což je patrné již od počátečních časů po zavezení. Maximální teplota zde nastává v době 3,7 roků a má hodnotu 59,6 °C. Rezerva do limitní teploty je v tento okamžik 1,5 °C. Poté teploty do cca 125 let od zavezení klesají na 40,5 °C a znovu narůstají na 42,9 °C v čase 750 let od zavezení, což je dáno transportem tepla z okolních oblastí.



Obr.138 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS NJZ – horizontální ukládání, ražba TBM

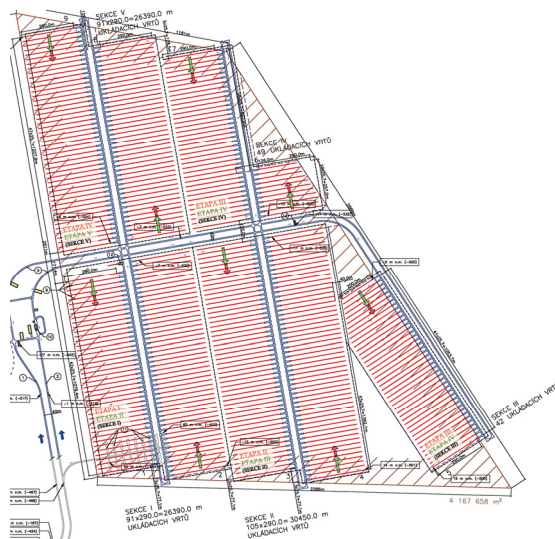
V oblasti zavážené UOS NJZ byly sledovány teploty na dvou středových pozicích sekce III a IV. V obou případech jde o středy největších oblastí zavezených UOS NJZ. Průběhy teplot jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ a prodlouženou dobu skladování VJP v grafu na Obr.138. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Průběh teplot na obou pozicích je v počátečním období stejný. Maximální teplota obou pozic je 60,7 °C a nastává 4,3 roků od zavezení. V tento okamžik je rezerva k limitní teplotě

0,8 °C. Nejmenší rezerva do limitní teploty 0,7 °C nastává o chvíli dříve v době 3,7 roků. Poté teplota obou pozic klesá. Od cca 30 roků po zavezení začíná teplota na pozici SIIINJZ stoupat až k hodnotě 54,5 °C v čase 420 let a tvoří tak druhý teplotní pík.

Horizontální ukládání, ražba konvenční

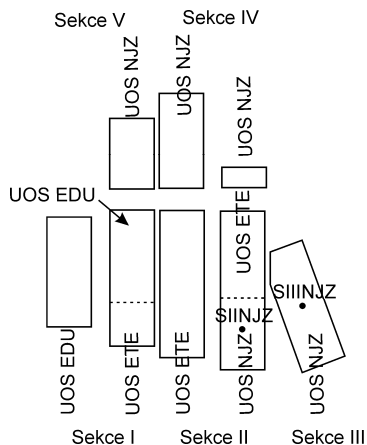
Dispoziční řešení podle [28], příloha dispozičního řešení D4, rozděluje HÚ do pěti sekcí a většinu z nich pak ještě koridorem o šířce 126 m s obslužnými chodbami na dvě další části. Mezi sekcemi je prostor o šíři 40 m. Jednotlivé části mají různý počet ukládacích vrtů o vždy stejné délce 290 m. Sekce I má 91 ukládacích vrtů, sekce II 105, sekce III 42, sekce IV 49 a sekce V 91. Rozteč ukládacích vrtů je vždy 25,7 m. Rozteče mezi UOS jsou: UOS EDU 7 m, UOS ETE 15 m a UOS NJZ 15 m. Navrhované dispoziční řešení je patrné z Obr.139.



Obr.139 Dispoziční řešení lokality Magdaléna, horizontální ukládání, konvenční ražba, [28], příloha dispozičního řešení D4

Popsané dispoziční řešení z [28], příloha dispozičního řešení D4, bylo pro teplotní výpočet zjednodušeno a zavezeno UOS podle schéma na Obr.140. Vzhledem k návrhu zavážení UOS je nejdříve zaplněna levá část sekce I a 33 vrtů pravé části téže sekce UOS EDU. V pravé vnější části sekce I jsou pak ještě umístěny do 15 vrtů UOS ETE. Sekce II má levou část zaplněnou zcela UOS ETE a v pravé části je těmito UOS zaplněno ještě 29 vrtů. Zbýlých 25 vrtů je zavezeno UOS NJZ. Sekce III, IV a část V jsou zaplněny UOS NJZ. Vždy jsou uvažovány zavážecí chodby zaplněné UOS pouze jednoho typu a jsou zaplněny celé, což vede při zaokrouhlení počtu UOS nahoru ke konzervativnímu zvýšení počtu UOS a tedy k vyšším teplotám v HÚ. Vzhledem k rezervě dispozičního návrhu a kompaktnosti zavezení je sekce V využita již jen z části a je v ní zavezeno jen 32 vrtů.

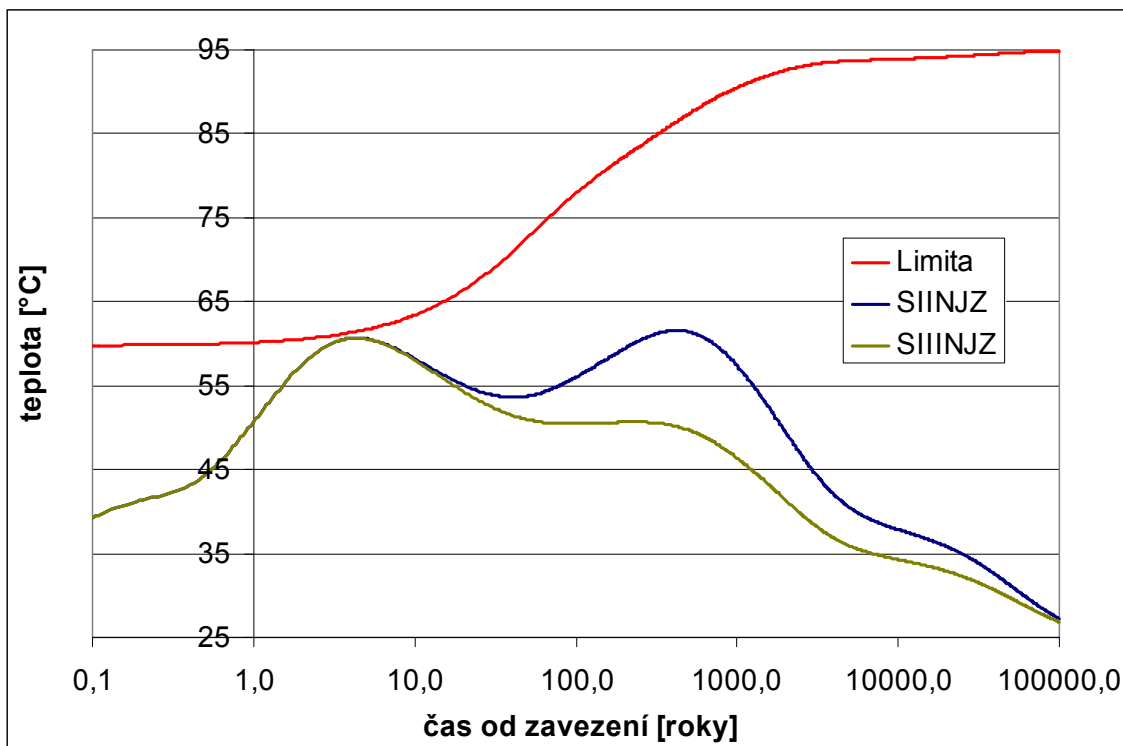
Hlavní rozdíl této varianty ukládání oproti variantě s ražbou TBM (viz předchozí odstavec) je v podobě sekce III. Ostatní změny je možno považovat za zanedbatelné, vzhledem k jejich malému vlivu na výsledky. Presentovaným výsledkem výpočtů je proto pouze průběh teplot na dvou pozicích SIIINJZ a SIIINJZ, viz Obr.140, které slouží jako ukázka vlivu změny dispozičního řešení a ostatní teploty lze považovat za obdobné předchozímu odstavci.



Obr.140 Geometrie teplotního výpočtu lokality Magdaléna, horizontální ukládání, konvenční ražba

Průběhy teplot na jsou spolu s limitní teplotou HB pro UOS NJZ a prodlouženou dobu skladování VJP v grafu na Obr.141. Z křivek je patrné, že v žádném časovém okamžiku nedojde v HÚ v oblasti zavezené UOS NJZ k překročení limitní teploty HB pro tento typ UOS.

Průběh teplot na obou sledovaných pozicích je zpočátku stejný. Maximální teplota 60,7 °C a nastává 4,3 roků od zavezení. V tento okamžik je rezerva k limitní teplotě 0,8 °C. Nejmenší rezerva do limitní teploty 0,7 °C nastává o chvíli dříve v době 3,7 roků, což jsou vše rovněž výsledky výpočtů prezentované v předchozím odstavci pro variantu s ražbou TBM. Poté teplota obou pozic klesá. Od cca 41 roků po zavezení však začíná v tomto případě výrazněji stoupat teplota na pozici SIINJZ a to až k hodnotě 61,6 °C v čase 420 let a vytvoří tak druhý teplotní pík s nejvyšší teplotou.



Obr.141 Průběhy teplot vybraných pozic na lokalitě Magdaléna pro UOS NJZ – horizontální ukládání, konvenční ražba

4.4 Souhrnná analýza výsledků

Provedené výpočty dlouhodobého vývoje teplot v HÚ prokázaly, že při ve všech variantách výpočtů (tj. jakémkoliv dispozičním návrhu pro libovolný typ zavážení) nedojde v oblasti HÚ ke zvýšení teploty nad limitní teplotu pro daný typ UOS. V HÚ tedy nebude nikde překročena limitní teplota bentonitu 95 °C.

Pro lokality s nižšími součiniteli tepelné vodivosti platí, že maximální teploty a minimální rezervy k limitní teplotě nastávají krátce po zavezení HÚ v období řádu jednotek roků. Toto maximum teploty je v řadě případů rovněž nejvyšší teplotou za celé sledované období, což platí zejména pro okrajové či rohové pozice v sekcích HÚ, kde se od tohoto maxima teploty již jen snižují. V pozdějším období jsou teplotně více zatíženy pouze pozice ve středu zaváženého prostoru. Teploty se v nich drží většinou ve vyrovnané hladině, někdy s mírným poklesem a následným nárůstem až do druhé vysoké teploty, které dosáhnou v řádech stovek let od zavezení.

Lokality s vysokými součiniteli tepelné vodivosti nemají výrazné maximum v počátečním období po zavezení a teplota v nich plynuleji stoupá až k maximu položenému v tomto případě do pozdějších období. Maximální teplota může být i přes vysoký součinitel tepelné vodivosti značná, protože UOS jsou v těchto případech zaváženy s menšími roztečemi a měrné tepelné zatížení HB v HÚ (může být bráno např. jako W/m^2 půdorysné plochy) je tak výrazně větší.

Souhrnný přehled mezních hodnot (maximální teploty HB a minimální rezervy k limitní teplotě) je pro jednotlivé lokality a typy ukládání, spolu s časovým údajem kdy nastanou a pozice kde nastanou, uveden v Tab.31. Z tabulky je patrné, že nejvyšší teploty by nastaly na lokalitě Magdaléna při vertikálních variantách ukládání, mírně nižší pak na lokalitě Horka, Čihadlo nebo Čertovka, opět při vertikálním ukládání. Nejmenší rezervy do limitní teploty jsou 0,3 °C a bývají dosaženy vždy při horizontálním ukládání např. na lokalitách Čihadlo, Hrádek a Březový potok.

Poměrně nízké rezervy k limitní teplotě nejsou překážkou návrhu HÚ, protože jsou vztaženy k limitní teplotě jejíž stanovení bylo značně konzervativní (viz kap. 3.1).

Tab.31 Souhrnné srovnání mezních teplotních hodnot pro všechny lokality a varianty ukládání


Lokalita	Varianta ukládání	Maximální teplota			Minimální rezerva		
		Teplota [°C]	Čas [roky]	pozice	Teplota [°C]	Čas [roky]	pozice
Kráví hora	V - TBM	60,7	2,7	SETE	0,6	2	SNJZ
	V - konv.	60,7	2,7/230	SETE	0,6	2,3	SINJZ
	H - TBM	53,6	2,9	SII1/SIV1	0,4	2,5	SII1/SIV1
	H - konv.	53,6	2,9	SII1/SIV1	0,4	2,5	SII1/SIV1
Čihadlo	V - TBM	69,1	85	SIETE	0,9	2,2	SII
	V - konv.	70,2	140	SIETE	0,9	2,2	SII/SIII
	H - TBM	54,5	2,5	SII/SIII/SIV	0,3	2,1	SII/SIII/SIV
	H - konv.	53,5	2,5	SIV/SV	0,4	2	SIV/SV



Horka	V - TBM	71,4	365	SETE	0,8	2,8/2,1	O2/SEDU
	V - konv.	70	265	SETE	0,8	2,8/2,1	SIINJZ/SEDU
	H - TBM	58	3,7	SETE	0,4	2,7/3,1	SEDU/SETE
	H - konv.	58,1	3,7	SIINJZ/ SIVNJZ	0,4	2,8/3,1	SEDU/SIINJZ
Hrádek	V - TBM	62,3	100	SETE	0,7	2,1	SNJZ
	V - konv.	60,5	2,4	SETE	0,7	2,1	SINJZ
	H - TBM	56,3	250	SIETE	0,3	2	SEDU1/ SEDU2
	H - konv.	56,3	250	SIETE	0,3	2	SEDU1/ SEDU2
Březový potok	V - TBM	60,8	2,7	SETE	0,6	2,3	SNJZ
	V - konv.	60,8	2,7	SETE	0,5	2	SNJZ
	H - TBM	53,8	3	SIETE/ SIETE	0,3	2,2/2,5	SEDU/SIETE/ SIETE
	H - konv.	53,8	3	SIETE/ SIETE	0,3	2,2/2,5	SEDU/SIETE/ SIETE
Čertovka	V - TBM	70,5	320	SETE	1,2	2,4	SNJZ
	V - konv.	69,6	220	SETE	1,2	2,3	SNJZ
	H - TBM	58,6	70	SIETE/ SIETE	0,4	2,7	SIETE/SIETE
	H - konv.	58,6	70	SIETE/ SIETE	0,4	2,7	SIETE/SIETE
Magda- léna	V - TBM	74,4	430	SETE	0,9	3,4	SIINJZ/ SIINJZ
	V - konv.	73,1	350	SETE	0,9	3,3	SINJZ/SIINJZ
	H - TBM	60,8	4,3	SETE	0,4	3,7	SETE
	H - konv.	61,6	420	SIINJZ	0,4	3,7	SETE

Lokality Janoch a na Skalním nebyly součástí podrobných návrhů HÚ v rámci prací konsorcia ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ a proto pro tyto lokality nevznikly studie umístitelnosti s podrobným návrhem podzemních částí i způsobu zavážení UOS. Z uvedeného důvodu nebyly pro tyto lokality prováděny ani výpočty dlouhodobého vývoje teplot v HÚ.

Na základě dosahovaných výsledků, které byly prezentovány v kap.3.3 (pro referenční lokalitu) a podkapitolách kap. 4.3 pro ostatních 7 lokalit, a faktu, že vývoj teplotního pole v HB se řídí stejnými fyzikálními zákonitostmi, je možné pro tyto dvě zbývající lokality s jistotou konstatovat, že při použití vhodných roztečí mezi UOS a zavážecími chodbami či

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

vrty, určenými v kap. 4.2.8 a kap. 4.2.9 nedojde ani těchto případech ke zvýšení teploty nad limitní teplotu HB pro daný typ UOS a v HÚ a tedy nebude nikde překročena limitní teplota bentonitu 95 °C.

4.5 Nejistoty řešení

Pro optimalizační výpočty roztečí mezi UOS a zavážecími chodbami či vrty i pro výpočty a posouzení dlouhodobého vývoje teplot v HÚ byla použita stejná metodika se stejnými analytickými modely. Nejistoty v dosahovaných výsledcích budou mít tedy společný základ a budou mít obdobné hodnoty, které pramení ze tří principiálních zdrojů rozebraných dále:


- zjednodušený analytický model pro výpočet teplotního pole v HB,
- zjednodušený analytický model výpočtu limitní teploty HB na okraji vývrtu,
- nejistoty v parametrech a znalostech (např. tep. výkon UOS, termofyzikální vlastnosti HB, apod., viz dále)

Analytický model pro výpočet teplotního pole v HB je odvozený za několika zjednodušení z Fourierovy diferenciální rovnice vedení tepla. Mezi nejvýznamnější zjednodušení modelu, které mohou vnášet do výsledků nepřesnosti, patří:

- o předpoklad superpozice teplotních polí, který však obecně nemusí být pro libovolné zadání a hraniční podmínky platný
- o konstantní počáteční teplota v HB, která je však ve skutečnosti dána geotermálním gradientem a ani v horizontálním směru nemusí být stejná
- o konstantní a isotropní termofyzikální vlastnosti HB, ve skutečnosti jsou tyto veličiny funkcemi teploty a zejména prostoru
- o nekonečný HB s konstantními vlastnostmi, avšak ve skutečnosti jsou za jeho hranicemi horniny s odlišnými termofyzikálními vlastnostmi, počáteční teplotou atd. Na některých lokalitách tyto horniny oddělují i jednotlivé HB s úložnými sekcemi.
- o model není schopen přesně popsat počáteční teplotní pole v bezprostřední blízkosti UOS nebo rychlejší transientní vedení tepla v bezprostřední blízkosti UOS, protože zdroje tepla jsou v něm uvažovány jako lineární s nulovým průměrem a po délce konstantní. Model tak nemůže popsat vliv odlišných termofyzikálních vlastností bentonitu a UOS na teplotní pole ani nerovnoměrnou distribuci tepla v bezprostřední blízkosti UOS, což se nejvíce projeví v počátečních obdobích po zavezení UOS.
- o model je definován pro jednotný počáteční čas, tj. je počítáno úložiště se zavezením všech UOS v jednom okamžiku, ve skutečnosti bude zavážení probíhat postupně

Výpočet limitní teploty HB na okraji vývrtu vychází rovněž z řešení Fourierovy diferenciální rovnice vedení tepla při následujících zjednodušeních:

- o jednorozměrné a stacionární vedení tepla v radiálním směru od UOS bentonitovou vrstvou a vzduchovou mezerou, které je však ve skutečnosti třírozměrné a nestacionární

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

- o uvažován konstantní (časově i prostorově) součinitel tepelné vodivosti bentonitu, který se však v čase i v prostoru bude měnit zejména v souvislosti se změnami vlhkosti bentonitu

Nejistoty ve znalostech a v parametrech, které vychází ze současného stavu vývoje HÚ v ČR a znalostí o VJP v ČR. Tyto nejistoty byly při výpočtech nahrazeny konzervativními předpoklady ovšem postupně se budou s vývojem poznatků v ČR i ve světě v budoucnu měnit:

- o tepelného výkonu UOS, který byl při analýzách uvažován stejný pro jednotlivé typy UOS (EDU, ETE, NJZ) a byl získán jako průměrný na základě konzervativních předpokladů zejména z budoucího provozu jaderných elektráren (viz kap. 3.1)
- o termofyzikálních vlastností HB včetně jeho počáteční teploty v ukládací hloubce
- o termofyzikálních vlastností bentonitu a jejich změn
- o materiálová a geometrická konfigurace UOS/bentonit
- o závazcích postupů (rychlosti, vrstev a typů bentonitu apod.)
- o konstrukce UOS

Některé z nejistot, např. v analytickém modelu pro výpočet teplotního pole v HB, nebo v určení limitní teploty, byly v rámci řešení upřesněny, popř. byly alespoň provedeny citlivostní analýzy, které měly ukázat jejich vliv. Výsledky těchto výpočtů jsou prezentovány v kap. 3.2.

Nejistoty způsobené volbou analytických modelů lze snížit vhodným doplněním či nahrazením těchto výpočtů numerickými výpočty pomocí validovaných kódů a postupů. Vzhledem k náročnosti numerických výpočtů na vstupní data i jejich výpočetní náročnosti má však smysl provádět tyto činnosti až v dalších fázích vývoje HÚ. To platí zejména pro celkový numerický výpočet HÚ. Nejistoty ve znalostech a dalších parametrech je pak nutné postupně odstraňovat např. geologickým průzkumem, vývojem nevhodnějšího bentonitu, vývojem lepší konstrukce UOS apod.

Jako nejdůležitější je zpřesnění zejména následujících nejistot:

- Výpočet a hodnoty limitní teploty HB, což je však úzce spjato s vlastnostmi bentonitu, geometrickou konfigurací UOS a konstrukcí UOS (těleso, koš, atd.), To jsou vše části návrhu HÚ, které jsou stále ve vývoji a pro provedení výpočtů byly zvoleny konzervativní předpoklady. Zpřesnění v této oblasti, vývoj vhodnějších materiálů a konstrukcí z hlediska odvodu tepla povede na snížení uvažovaných konzervativních předpokladů, čímž může být zvýšena limitní teplota HB v počátečních fázích po zavezení. Toto zvýšení lze očekávat v řádu jednotek až do cca 20 °C. Vzhledem ke skutečnosti, že jde o výpočet totožný pro všechny lokality, mají zvolené konzervativní předpoklady na vzájemné srovnání lokalit menší vliv a roli budou hrát až v podrobnějším návrhu HÚ.
- Určení přesné počáteční teploty na ukládacím horizontu v HB na jednotlivých lokalitách, což může podle výsledků prezentovaných v Tab.6 až Tab.11 výrazně ovlivnit optimální rozteče UOS a tedy i srovnání lokalit.


5 Závěr

Tepelné výpočty provedené pro optimalizaci roztečí UOS a roztečí ukládacích chodeb či vrtů a posouzení jednotlivých způsobů ukládání a lokalit vychází z podmínek zadání. Jako výchozí parametry byly proto převzaty geometrické parametry, konstrukce a počty UOS pro jednotlivé typy VJP (EDU, ETE, NJZ), tloušťka vrstvy bentonitu, limitní podmínka na maximální povolenou teplotu bentonitu a počáteční teplota v HB. Jako základní podklad k řešení sloužily rovněž informace o inventáři VJP v ČR (skutečného i očekávaného) a termofyzikální vlastnosti HB (součinitel tepelné vodivosti, hustota a měrná tepelná kapacita) HB na jednotlivých reálných lokalitách. Pro srovnávací výpočty byla rovněž definována referenční lokalita.

Inventář VJP byl použit pro stanovení průměrného vyhoření a hmotnosti uranu v palivových souborech jednotlivých typů reaktorů. Výpočet byl proveden na základě váženého průměrování z dostupných i předpokládaných a konzervativně zvolených parametrů VJP pro současné i předpokládané bloky JE v ČR. Z uvedených dat a ze zvolené analytické funkce pro stanovení tepelného výkonu VJP byl poté určen výkon různých typů UOS jako funkce času od chvíle zavezení do HÚ až do konce sledovaného časového intervalu. Analytická funkce byla převzata z literatury a konfrontována s numerickými výpočty VJP různých typů provedených na KJR-FJFI, čímž byla prokázána její dostatečná přesnost a použitelnost pro zamýšlený účel..

Zvolený postup optimalizace roztečí i výpočtu dlouhodobého teplotního chování HÚ vychází z ověřených analytickým modelů používaných např. v severských zemích pro základní výpočty HÚ. Vychází z analytického popisu vzrůstu teploty v daném místě vlivem součtu působení tepelných lineárních zdrojů (UOS) z okolí. Tento ohřev je poté při optimalizačních výpočtech srovnáván s limitní teplotou pro HB, přičemž je hledána minimální rozteč v obou směrech (UOS a tunely/vrty) tak, aby limitní teplota ještě nebyla překročena. Výpočet limitní teploty HB je jako klíčový parametr se značnými vlivy na dosahované výsledky optimalizačních výpočtů rovněž nedílnou součástí práce a jeho problematika, přijatá zjednodušení a nejistoty jsou popsány v příslušné kapitole. Při výpočtu dlouhodobého průběhu teplot v HÚ jsou výsledkem výpočtů stejného analytického modelu přímo teploty ve zvolených místech HÚ v celém časovém intervalu. Uvedený použitý analytický model má své vlastnosti, omezení a zjednodušení, které byly v rámci provedených prací podrobně prověřeny, otestovány a popsány v příslušných kapitolách. Na základě prezentovaných výsledků analýz si tak lze udělat lepší představu o závislostech roztečí na parametrech HB (termofyzikální vlastnosti a počáteční teplota), přesnosti použitého modelu a jeho konzervativnosti.

Optimalizační výpočty pro jednotlivé lokality určily minimální rozteče mezi UOS a závážecími chodbami (resp. vrty při horizontálním ukládání), které byly posléze po drobné úpravě a korekcích na pevnostní výpočty použity k návrhu dispozičního řešení jednotlivých variant HÚ v posuzovaných lokalitách. Vzhledem k poměrně malému součiniteli tepelné vodivosti na některých lokalitách v ČR, uvažované vysoké počáteční teplotě v HB a konzervativně stanovené limitní teplotě HB, nebyly pro některé případy ukládání či typy UOS nalezeny reálně použitelné rozteče (UOS by v takovém případě nebylo možno uložit bez překročení povolené teploty bentonitu). V takovém případě byl výsledkem optimalizačního výpočtu

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017


návrh na prodloužení doby skladování od vyvezení z AZ, což vede ke snížení počátečního výkonu UOS v době zavážení do HÚ. Uvedená doporučená minimální doba skladování byla optimalizována vzhledem ke zvoleným referenčním roztečím.

Výpočty dlouhodobých průběhů teplot na vybraných místech HÚ pro jednotlivé lokality a varianty ukládání slouží k demonstraci teplotního chování HÚ. Vzhledem k omezenému počtu počítaných pozic však nedávají kompletní pohled na teplotní pole v HÚ. Srovnání s limitní teplotou HB v průběhu celého sledovaného období prokazuje, že limitní teplota nebude překročena pro žádný typ UOS ani variantu ukládání na žádné ze sledovaných lokalit. Lokality i varianty ukládání jsou pak vzájemně srovnány na základě maximální dosahované teploty i minimální rezervy k limitní teplotě.



6 Literatura

- [1] Blaheta J. a kol. Tepelná analýza referenčního návrhu úložiště vyhořelého jaderného paliva, Ústav geoniky AV ČR, Ostrava, 2012
- [2] Claesson J.: Selected Models for Key Processes in a Nuclear Waste Repository Temperature field – Bentonite drying/resaturation, SKI Report 2008:47, ISSN 1104-1374, 2007
- [3] Claesson J., Probert T.: Temperature field due to time-dependent heat sources in a large rectangular grid – Derivation of analytical solution, SKB Technical report 96-12, Stockholm, 1996
- [4] Dědeček P.: Stanovení tepelných vlastností horninových vzorků z průzkumných lokalit v souvislosti s plánovaným úložištěm RO, Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i, 2017
- [5] Hedin A.: Integrated near-field evolution model for a KBS-3 repository, SKB Rapport R-04-36, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2004, ISSN 1402-3091
- [6] Hökmark H., Fälth B.: Thermal dimensioning of the deep repository - Influence of canister spacing, canister power, rock thermal properties and nearfield design on the maximum canister surface temperature, Technical Report TR-03-09, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2003
- [7] Hökmark H., Lönnqvist M., Kristensson O., Sundberg J., Hellström G., Strategy for thermal dimensioning of the final repository for spent nuclear fuel, R-09-04, SKB, 2009
- [8] Ikonen K., Raiko H.: Thermal Analysis of KBS-3H Repository, Working Report 2015-01, Posiva Oy, 2015
- [9] Kronberg M.: KBS-3H Heated supercontainer test, SKB P-17-21, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2018, ISSN 1651-4416
- [10] Pospíšková I. a kol., I. etapa - Analýza vstupních předpokladů řešení, 1.dílčí zpráva, EGP 5014-F-090424, 2009
- [11] Masáková: Sestava superkontejneru 1000, Ae 32769 P, Škoda JS, 2010
- [12] Masáková: Sestava superkontejneru 440, Ae 32768 P, Škoda JS, 2010
- [13] Ražnjevič K.: Termodynamické tabulky, Alfa, Bratislava, 1984
- [14] PTC: User's Guide Mathcad ® 15.0 M010, Parametric Technology Corporation, Needham, 2011
- [15] PTC: PTC Mathcad home page [online], [cit.31.7.2018] dostupné na WWW: <<https://www.ptc.com/en/products/mathcad>>
- [16] Rataj J., et al.: Databáze VJP pro bezpečnostní rozbor, Technická zpráva č. 11/2015. SÚRAO, 2015
- [17] SKB: Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation Main Report of the SR-Can project, Svensk Kärnbränslehantering AB, Technical Report, TR-06-09, 2006

 SÚRAO	Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS	Evidenční označení:
		TZ 135/2017

- [18] Stahala M. P.: High Level Nucleat Waste Repository Thermal Loading Analysis, Thesis Under the direction of Yim M.S. and McNelis D., North Carolina State University, Raleigh, 2006
- [19] Šik J.: Ukládací obalový soubor pro hlubinné úložiště, Tepelný výpočet, Ae 16093/dok Rev.1, Škoda JS, 2016
- [20] Weetjens E.: Update of the near field temperature evolution calculations for disposal of UNE-55, MOX-50 and vitrified HLW in a supercontainer- based geological repository, SCK•CEN-ER-86 09/EWe/P-20, 2009
- [21] Grünwald L. a kol.: Optimalizace podzemních částí HÚ referenčního projektu, Technická zpráva číslo 134/2017, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018
- [22] Bureš P. a kol.: Studie umístitelnosti - Čihadlo, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2017
- [23] Špinka O. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT- SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018
- [24] Bureš P. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Horka, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT- SATRA-Mott MacDonald CZ, 2017
- [25] Špinka O. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Hrádek, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT- SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018
- [26] Špinka O. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Březový potok, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018
- [27] Bureš P. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čertovka, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018
- [28] Bureš P. a kol.: Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Magdaléna, závěrečná zpráva, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2018
- [29] Fejt F., Kobyłka D.: Optimalizace zavážení VJP do UOS, závěrečná zpráva, 350/2019, Praha: ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ, 2019
- [30] SRAC: COSMOS/M 2.7, User's guide, Structural Research and Analysis Corporation, 2001

NAŠE BEZPEČNÁ BUDOUCNOST



SÚRAO

Správa úložišť radioaktivních odpadů

Dlážděná 6, 110 00 Praha 1

Tel.: 221 421 511, E-mail: info@surao.cz

www.surao.cz