

Vlastnosti směsi voda-líh při návrhu zemních okruhů tepelných čerpadel

Zdeněk Číhal – Pavel Rybka – Ladislav Roubínek

Množství elektrické energie, spotřebované pro pohon oběhových čerpadel v primárních okruzích tepelných čerpadel, tvoří nezanedbatelnou část provozních nákladů.

Čerpací práce do značné míry závisí na vlastnostech kapaliny. Nejdůležitějšími parametry, závislými na teplotě kapaliny, jsou zejména: složení směsi, měrná hustota, měrné teplo, tepelná vodivost, dynamická viskozita, kinematická viskozita, Prandtlovo číslo. Průběhy těchto veličin na teplotě nejsou lineární. Proto je obtížné správně dimenzovat oběhové čerpadlo primárních okruhů.

Autoři článku uvádějí cenné výsledky složitých výpočtů, použitelné v praxi.

Recenzent: Jiří Matějček

Na počátku tohoto příspěvku stála otázka, jak technicky odůvodněně a přesně dimenzovat oběhová čerpadla primárních okruhů tepelných čerpadel země-voda. Tato tepelná čerpadla (dále TČ) odebírají teplo nejčastěji z vrtu, případně ze zemního kolektoru. Ve vrtu nebo v kolektoru je uložena jedna nebo více smyček z plastového potrubí, kterými protéká nemrznoucí směs a přenáší teplo mezi zemí a TČ. Podle potřeby se provádí jeden nebo více vrtů o hloubce 70 až 130 m. Zemní kolektor vyžaduje mít k dispozici dostatečně velkou, zpravidla zatravněnou, plochu umožňující vsakování dešťových vod, což příznivě přispívá k tepelné bilanci kolektoru. TČ s vrty mají nejnižší nároky na prostor uvnitř i vně domu, rovněž odpadá zátěž okolí hlukem při chodu venkovní jednotky. Výhodou vrtů je rovněž to, že je lze většinou využít i pro chlazení objektu v letním období. V režimu chlazení pak dochází k tzv. regeneraci vrtů. Dodávkou tepla do horniny v okolí vrtu stoupá její teplota, částečně se může vytvořit i zásoba tepla na zimu, takže TČ je pak minimálně na začátku topného období provozováno s příznivějšími teplotními parametry zvyšujícími jeho topný faktor.

Při sledování efektivity provozu TČ hraje zásadní roli topný faktor, respektive průměrný sezónní topný faktor za celý rok. Na straně poloček, které jej snižují, stojí i spotřeba elektrické energie čerpadla, které zajišťuje cirkulaci teplotnosné látky. V našem případě jde o nemrznoucí směs v primárním okruhu TČ. Provozní spotřeba elektrické energie, a též i investiční náklad na pořízení primárního čerpadla, se odvíjí od toho, jak přesně je toto oběhové čerpadlo navrženo. Návrh je jednoduchý jen zdánlivě. V odborné literatuře, vztahující se k návrhu čerpadla, v podkladech výrobců a dodavatelů TČ, lze obecně nalézt jen doporučení, a to vyprojektovat čerpadlo tak, jako kdyby v okruhu cirkulovala voda a pak v závislosti na konkrétním výrobcu či dodavateli zvýšit dopravní výšku o 20 až 40 %. V době, kdy si při výpočtu energetické náročnosti budov musíme všimnout doslova každého zbytečného wattu, jsem údaj s výše uvedeným rozptylem považoval za nedostatečný. Společně s kolegy Ing. Pavlem Rybkou a Ing. Ladislavem Roubínkem jsme shromáždili dostupné údaje, které se k problematice vážou a pokusili se najít řešení exaktní, s přiměřenou přesností.

Jako náplň primárních okruhů TČ typu země-voda se převážně využívá směs voda-ethanol (etylalkohol-líh). Prodejní název je např. Termofrost L, kde ethanol (líh) tvoří více jak 90 % objemu. Doporučené ředění pro primární okruhy TČ je 1 díl Termofrostu L a 2 díly vody.

Z hlediska topenáře je nejdůležitějším parametrem výkon přenášený primárním okruhem. Pokud je známa měrná tepelná kapacita směsi, její viskozita, teplotní rozdíl a parametry potrubí, mělo by být již poměrně jednoduché se dopracovat k hodnotě hmotnostního průtoku a potřebné tlakové difference. Na základě těchto vstupních údajů lze pak provést správné nadimenzování oběhového čerpadla primárního okruhu TČ.

Protože získání termofyzikálních parametrů teplotnosných látek není tak snadné, jak by mělo být, pokusili jsme se nalezené a vypočtené parametry zpřístupnit i ostatním v závěru tohoto příspěvku.

Jelikož nejpřehlednější a nejlépe sdělovací je vždy srovnání na základě příkladu spočteného pro konkrétní hodnoty, nepostupovali jsme ani v tomto případě jinak. Pro potřeby srovnání byl proveden výpočet konkrétní smyčky primárního okruhu TČ, a to v prvním kroku pro teoretický případ, kdy by náplň tvořila pouze voda o různých teplotách, ale vždy při stejném teplotním spádu. Toto srovnání je nesmírně důležité a jeho výsledek si dovoluji okomentovat v závěru příspěvku. Výsledek viz tab. 1.

Jako druhý krok byl proveden výpočet té samé smyčky primárního okruhu TČ s tím, že bylo počítáno s různou koncentrací směsi Termofrostu L a vody při teplotním spádu 10/6 °C a 5/1 °C. Tyto vypočtené hodnoty byly porovnány s hodnotami z tab. 1, a to s výpočtem provedeným pro běžně užívanou střední teplotu 60 °C a dále pro shodné střední teploty 8 °C a 3 °C. Výsledky provedených výpočtů a jejich porovnání si opět dovoluji okomentovat v závěru příspěvku. Výsledek viz tab. 2.

Příklad

Provedte výpočet průtoku a tlakové ztráty smyčky primárního okruhu TČ. Přenášený výkon je 3,3 kW, potrubí plastové 32 × 3,0 mm, délka smyčky je 130 m. Teplotní spád uvažujte 4 K. Výpočet proveďte pro vodu o různé střední teplotě a dále pro směs Termofrost L a voda pro teplotní spád 10/6 °C a 5/1 °C.

▼ Tab. 1 ●

Kapalina	Teplota přívod/zpátečka [°C]	Hmotnostní průtok m [kg · h ⁻¹]	Tlaková difference Δp [%]	Nárůst průtoku [%]	Nárůst tlaku Δp [%]
Voda	82/78	704,5	19 443	-0,3	-7,2
Voda	62/58	706,5	20 953	-	-
Voda	52/48	707,3	21 867	0,1	4,4
Voda	30/26	707,2	24 498	0,1	16,9
Voda	10/6	704,6	28 144	-0,3	34,3
Voda	5/1	702,6	29 356	-0,6	40,1

V tab. 1, respektive ve výpočtech seřazených v této tabulce, jsou zajímavé dva údaje. V rozmezí běžně používaných středních teplot se hmotnostní průtok liší pouze nepatrně. Tlaková ztráta však, zvláště pro nízké teploty, díky výrazné změně viskozity zásadně roste. Zde se musím přiznat k tomu, že nebýt takového srovnání provedeného v tab. 1, tak bych si zřejmě ani neuvědomil, že teplota vody má tak zásadní vliv na výslednou tlakovou ztrátu. Pravdou je však i to, že pro aplikace ve vytápění nemají nízké střední teploty žádný praktický význam, takže projektant ústředního vytápění běžně takovou změnu tlakové ztráty ani zaznamenat nemůže, zvláště pokud provádí výpočet pro konkrétní teploty otopné vody, které se nemění.

▼ Tab. 2 ●

Směs Termofrost L-voda	Teplota přívod/ zpátečka [°C]	Hmotnostní průtok m [kg · h ⁻¹]	Tlaková difference Δp [%]	Vztaženo k vodě s tepl. parametry 62/58		Vztaženo k vodě se shodnými tepl. parametry	
				Nárůst průtoku [%]	Nárůst tlaku Δp [%]	Nárůst průtoku [%]	Nárůst tlaku Δp [%]
1 : 1	10/6	765,1	46 394	8,3	121,4	8,6	64,8
1 : 1	5/1	769,7	49 721	8,9	137,3	9,6	69,4
1 : 1,5	10/6	706,3	38 180	0,0	82,2	0,2	35,7
1 : 1,5	5/1	708,0	40 910	0,2	95,2	0,8	39,4
1 : 2	10/6	692,1	35 775	-2,0	70,7	-1,8	27,1
1 : 2	5/1	692,7	38 011	-2,0	81,4	-1,4	29,5
1 : 3	10/6	685,6	34 013	-3,0	62,3	-2,7	20,9
1 : 3	5/1	685,4	36 161	-3,0	72,6	-2,4	23,2

V tab. 2 jsou výpočty provedeny pro různé koncentrace směsi Termofrost L a vody a pro střední teplotu 8 °C a 3 °C. Jak bylo výše již uvedeno, nejběžnější koncentrace směsi je 1 : 2. Při této koncentraci je změna hmotnostního průtoku proti vodě nepatrná, takže pokud bychom brali pro dimenzování oběhového čerpadla pouze hodnotu průtoku, žádné zásadní chyby bychom se nedopustili.

Naprosto odlišná je však hodnota tlakové difference, a tím i stanovení potřebné dopravní výšky navrhovaného oběhového čerpadla. Pokud bychom bez znalosti věci provedli hydraulický výpočet smyčky primárního okruhu pro střední teplotu 60 °C, a na takto stanovenou hodnotu tlakové difference navrhli oběhové čerpadlo, dopustili bychom se chyby ve výši cca 82 % a soustava by v žádném případě nebyla schopna pracovat s potřebnými parametry.

Pokud bychom výpočet tlakové ztráty na vodě provedli pro shodnou střední teplotu 3 °C, pak bychom se dopustili nepřesností či chyby v určení dopravní výšky pro směs v koncentraci 1 : 2 ve výši cca 30 %. Hodnoty nepřesností, resp. chyby v procentech lze pro jiné koncentrace v tab. 2 snadno dohledat.

Doporučení některých výrobců vyprojektovat čerpadlo tak, jako kdyby v okruhu cirkulovala voda, a pak zvýšit dopravní výšku o 20 až 40 %, bylo tedy výpočtem více méně potvrzeno (osobně preferuji hodnotu minimálně

30 %). Toto však platí pouze za předpokladu, že výpočet s vodou bude proveden pro shodnou střední teplotu, jaká je uvažovaná pro náplň primárního okruhu. Při odlišných středních teplotách může být vzniklá chyba na-prosto zásadní a oběhové čerpadlo pak bude navrženo zcela chybně.

Bohužel přesný výpočet jsem nenalezl v žádném obvykle dostupném výpočetním softwaru. Pro ty, kteří mají zájem si výpočet provést přesněji, jsou dále uvedeny tabulky směsí Thermofrost L – voda.

Tabulky vlastností směsí Thermofrost L – voda pro různé poměry směsí a teploty

Koncentrace Thermofrost L(etanol): voda – 1 : 1

Hmotnostní koncentrace [%]	Teplota [°C]	Bod tuhnutí [°C]	Měrná hustota [kg · m ⁻³]	Měrné teplo [J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	Tepelná vodivost [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]	Dynamická viskozita [mPa · s]	Kinematická viskozita [mm ² · s ⁻¹]	Prandtlovo číslo [–]
43,20	–32	–32	965	3681	0,327	58	60	650
43,20	–31	–32	964	3685	0,327	53	55	600
43,20	–30	–32	963	3690	0,327	49	51	554
43,20	–29	–32	963	3694	0,328	45	47	512
43,20	–28	–32	962	3699	0,328	42	44	473
43,20	–27	–32	962	3703	0,329	39	40	438
43,20	–26	–32	961	3708	0,329	36	38	406
43,20	–25	–32	960	3713	0,329	33	35	377
43,20	–24	–32	960	3717	0,330	31	32	350
43,20	–23	–32	959	3722	0,330	29	30	326
43,20	–22	–32	958	3726	0,330	27	28	303
43,20	–21	–32	958	3731	0,331	25	26	282
43,20	–20	–32	957	3735	0,331	23	24	263
43,20	–19	–32	956	3740	0,331	22	23	246
43,20	–18	–32	956	3745	0,332	20	21	229
43,20	–17	–32	955	3749	0,332	19	20	215
43,20	–16	–32	954	3754	0,333	18	19	201
43,20	–15	–32	954	3758	0,333	17	17	188
43,20	–14	–32	953	3763	0,333	16	16	176
43,20	–13	–32	952	3767	0,334	15	15	166
43,20	–12	–32	952	3772	0,334	14	14	156
43,20	–11	–32	951	3776	0,334	13	14	146
43,20	–10	–32	950	3781	0,335	12	13	138
43,20	–9	–32	950	3786	0,335	11	12	130
43,20	–8	–32	949	3790	0,335	11	11	122
43,20	–7	–32	948	3795	0,336	10	11	115
43,20	–6	–32	947	3799	0,336	10	10	109
43,20	–5	–32	947	3804	0,337	9	10	103
43,20	–4	–32	946	3808	0,337	9	9	97
43,20	–3	–32	945	3813	0,337	8	9	92
43,20	–2	–32	945	3818	0,338	8	8	87
43,20	–1	–32	944	3822	0,338	7	8	83
43,20	0	–32	943	3827	0,338	7	7	79
43,20	1	–32	942	3831	0,339	7	7	75
43,20	2	–32	942	3836	0,339	6	7	71
43,20	3	–32	941	3840	0,339	6	6	68
43,20	4	–32	940	3845	0,340	6	6	65
43,20	5	–32	940	3850	0,340	5	6	62
43,20	6	–32	939	3854	0,340	5	6	59



43,20	7	-32	938	3859	0,341	5	5	56
43,20	8	-32	937	3863	0,341	5	5	54
43,20	9	-32	937	3868	0,342	5	5	51
43,20	10	-32	936	3873	0,342	4	5	49
43,20	11	-32	935	3877	0,342	4	4	47
43,20	12	-32	934	3882	0,343	4	4	45
43,20	13	-32	934	3886	0,343	4	4	43
43,20	14	-32	933	3891	0,343	4	4	41
43,20	15	-32	932	3896	0,344	4	4	40
43,20	16	-32	931	3900	0,344	3	4	38
43,20	17	-32	931	3905	0,344	3	3	37
43,20	18	-32	930	3910	0,345	3	3	36
43,20	19	-32	929	3914	0,345	3	3	34
43,20	20	-32	928	3919	0,345	3	3	33

Koncentrace Thermofrost L(etanol): voda – 1 : 1,5

Hmotnostní koncentrace [%]	Teplota [°C]	Bod tuhnutí [°C]	Měrná hustota [kg · m ⁻³]	Měrné teplo [J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	Tepelná vodivost [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]	Dynamická viskozita [mPa · s]	Kinematická viskozita [mm ² · s ⁻¹]	Prandtlovo číslo [–]
29,50	-20	-20	973	4145	0,387	24	25	257
29,50	-19	-20	973	4147	0,388	22	23	237
29,50	-18	-20	973	4149	0,389	21	21	220
29,50	-17	-20	973	4150	0,389	19	20	203
29,50	-16	-20	972	4152	0,390	18	18	189
29,50	-15	-20	972	4154	0,391	16	17	175
29,50	-14	-20	972	4156	0,391	15	16	163
29,50	-13	-20	971	4158	0,392	14	15	152
29,50	-12	-20	971	4159	0,393	13	14	141
29,50	-11	-20	971	4161	0,393	12	13	132
29,50	-10	-20	970	4163	0,394	12	12	123
29,50	-9	-20	970	4165	0,395	11	11	116
29,50	-8	-20	970	4167	0,395	10	11	108
29,50	-7	-20	969	4169	0,396	10	10	102
29,50	-6	-20	969	4171	0,397	9	9	95
29,50	-5	-20	968	4172	0,397	9	9	90
29,50	-4	-20	968	4174	0,398	8	8	85
29,50	-3	-20	967	4176	0,399	8	8	80
29,50	-2	-20	967	4178	0,399	7	7	75
29,50	-1	-20	967	4180	0,400	7	7	71
29,50	0	-20	966	4182	0,401	6	7	67
29,50	1	-20	966	4184	0,401	6	6	64
29,50	2	-20	965	4186	0,402	6	6	60
29,50	3	-20	965	4187	0,403	6	6	57
29,50	4	-20	964	4189	0,403	5	5	54
29,50	5	-20	964	4191	0,404	5	5	52
29,50	6	-20	963	4193	0,405	5	5	49
29,50	7	-20	963	4195	0,405	5	5	47
29,50	8	-20	962	4197	0,406	4	5	45
29,50	9	-20	961	4199	0,407	4	4	43
29,50	10	-20	961	4201	0,407	4	4	41
29,50	11	-20	960	4203	0,408	4	4	39





29,50	12	-20	960	4205	0,409	4	4	37
29,50	13	-20	959	4207	0,409	3	4	36
29,50	14	-20	958	4208	0,410	3	3	34
29,50	15	-20	958	4210	0,411	3	3	33
29,50	16	-20	957	4212	0,411	3	3	31
29,50	17	-20	957	4214	0,412	3	3	30
29,50	18	-20	956	4216	0,413	3	3	29
29,50	19	-20	955	4218	0,413	3	3	28
29,50	20	-20	955	4220	0,414	3	3	27

Koncentrace Thermofrost L(etanol): voda – 1 : 2

Hmotnostní koncentrace [%]	Teplota [°C]	Bod tuhnutí [°C]	Měrná hustota [kg · m ⁻³]	Měrné teplo [J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	Tepelná vodivost [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]	Dynamická viskozita [mPa · s]	Kinematická viskozita [mm ² · s ⁻¹]	Prandtlovo číslo [-]
24,50	-15	-15	976	4275	0,413	15	16	158
24,50	-14	-15	975	4276	0,414	14	15	147
24,50	-13	-15	975	4276	0,415	13	14	136
24,50	-12	-15	975	4276	0,415	12	13	126
24,50	-11	-15	975	4277	0,416	11	12	118
24,50	-10	-15	975	4277	0,417	11	11	110
24,50	-9	-15	974	4278	0,418	10	10	102
24,50	-8	-15	974	4278	0,419	9	10	96
24,50	-7	-15	974	4279	0,419	9	9	90
24,50	-6	-15	974	4279	0,420	8	8	84
24,50	-5	-15	973	4280	0,421	8	8	79
24,50	-4	-15	973	4281	0,422	7	8	74
24,50	-3	-15	973	4281	0,423	7	7	70
24,50	-2	-15	973	4282	0,424	7	7	66
24,50	-1	-15	972	4282	0,424	6	6	62
24,50	0	-15	972	4283	0,425	6	6	59
24,50	1	-15	971	4283	0,426	6	6	56
24,50	2	-15	971	4284	0,427	5	5	53
24,50	3	-15	971	4285	0,428	5	5	50
24,50	4	-15	970	4285	0,428	5	5	48
24,50	5	-15	970	4286	0,429	5	5	45
24,50	6	-15	970	4287	0,430	4	4	43
24,50	7	-15	969	4287	0,431	4	4	41
24,50	8	-15	969	4288	0,432	4	4	39
24,50	9	-15	968	4289	0,433	4	4	37
24,50	10	-15	968	4290	0,433	4	4	36
24,50	11	-15	967	4290	0,434	3	4	34
24,50	12	-15	967	4291	0,435	3	3	33
24,50	13	-15	966	4292	0,436	3	3	31
24,50	14	-15	966	4292	0,437	3	3	30
24,50	15	-15	965	4293	0,437	3	3	29
24,50	16	-15	965	4294	0,438	3	3	27
24,50	17	-15	964	4295	0,439	3	3	26
24,50	18	-15	964	4296	0,440	3	3	25
24,50	19	-15	963	4296	0,441	2	3	24
24,50	20	-15	963	4297	0,441	2	2	23



Hmotnostní koncentrace [%]	Teplota [°C]	Bod tuhnutí [°C]	Měrná hustota [kg · m ⁻³]	Měrné teplo [J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	Tepelná vodivost [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]	Dynamická viskozita [mPa · s]	Kinematická viskozita [mm ² · s ⁻¹]	Prandtlovo číslo [–]
21,20	–12	–12	977	4339	0,431	11	12	114
21,20	–11	–12	977	4338	0,432	11	11	106
21,20	–10	–12	977	4338	0,433	10	10	99
21,20	–9	–12	977	4337	0,433	9	9	92
21,20	–8	–12	977	4337	0,434	9	9	86
21,20	–7	–12	976	4336	0,435	8	8	80
21,20	–6	–12	976	4336	0,436	8	8	75
21,20	–5	–12	976	4336	0,437	7	7	71
21,20	–4	–12	976	4335	0,438	7	7	66
21,20	–3	–12	976	4335	0,439	6	6	63
21,20	–2	–12	975	4335	0,440	6	6	59
21,20	–1	–12	975	4334	0,441	6	6	56
21,20	0	–12	975	4334	0,442	5	5	53
21,20	1	–12	975	4334	0,443	5	5	50
21,20	2	–12	974	4334	0,444	5	5	47
21,20	3	–12	974	4333	0,444	5	5	45
21,20	4	–12	974	4333	0,445	4	4	42
21,20	5	–12	973	4333	0,446	4	4	40
21,20	6	–12	973	4333	0,447	4	4	38
21,20	7	–12	973	4333	0,448	4	4	37
21,20	8	–12	972	4333	0,449	4	4	35
21,20	9	–12	972	4332	0,450	3	4	33
21,20	10	–12	972	4332	0,451	3	3	32
21,20	11	–12	971	4332	0,452	3	3	30
21,20	12	–12	971	4332	0,453	3	3	29
21,20	13	–12	970	4332	0,454	3	3	28
21,20	14	–12	970	4332	0,455	3	3	27
21,20	15	–12	970	4332	0,455	3	3	26
21,20	16	–12	969	4332	0,456	3	3	25
21,20	17	–12	969	4332	0,457	2	3	24
21,20	18	–12	968	4332	0,458	2	2	23
21,20	19	–12	968	4332	0,459	2	2	22
21,20	20	–12	967	4333	0,460	2	2	21

Autoři:

Ing. Zdeněk Číhal,
samostatný projektant, Praha;
člen redakční rady Topenářství instalace

Ing. Pavel Rybka,
výpočty a měření v oblasti
techniky prostředí, Poděbrady

Ing. Ladislav Roubínek,
autor výpočetního softwaru
v oblasti vytápění

Recenzent:

Ing. Jiří Matějček, CSc.,
autorizovaný inženýr pro techniku
prostředí, certifikovaný soudní znalec
v oboru energetika,

Energetická zařízení s.r.o., Praha;
člen redakční rady Topenářství instalace

**Properties of water-alcohol mixture
in the calculation of heat pumps earth
circuits**

The amount of electric power consumed for driving the circulation pump in the primary circuits of heat pumps constitute a considerable part of the operating costs. Largely depends on the properties of the liquid. The authors give the properties of the mixture of water and alcohol in the range of usual operating temperatures.