

	VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA Fakulta elektrotechniky a informatiky ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA	
---	--	---

STUDIE ODEZVY HORNINOVÉHO MASIVU PRO INSTALACE TEPELNÝCH ČERPADEL

Prof. Ing. Petr BUJOK, CSc.
Doc. Ing. Mojmír VRTEK, Ph.D.
Ing. Bohumil HORÁK, Ph.D.
Ing. Radovan HÁJOVSKÝ, Ph.D.
Göran Hellström

Institut geologického inženýrství, HGF, VŠB-TUO
Katedra energetiky, FS, VŠB-TUO
Katedra měřicí a řídicí techniky, FEI, VŠB-TUO
Division of Mathematical Physics, LIT Univ. LUND

Anotace: *Studie se zabývá problematikou odezvy horninového masivu v souvislostech s masivní instalací tepelných čerpadel s výměníky v podobě hlubokých podpovrchových vrtů. Úvodní část studie se zabývá oblastí geofyziky a specifikuje hydraulické a tepelné technické veličiny související výsledně s ekonomikou provozu tepelného čerpadla. Následuje soubor kapitol popisujících tepelná čerpadla a jejich dimenzování s ohledem na vlastnosti horninového podloží. Závěr studie je věnován popisu testu tepelné odezvy horninového masivu a technického řešení reálného experimentu.*

Studie je určena technické veřejnosti zabývající se oblastmi alternativních a obnovitelných zdrojů energií, oblastmi tepelných čerpadel, jejich dimenzováním v souvislostech implementací v konkrétních podmínkách horninového podloží.

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2005-část A.

Ostrava, říjen 2005

OBSAH

1. ÚVOD	3
2. ZÁKLADNÍ PARAMETRY GEOHYDRODYNAMICKÝCH SYSTÉMŮ	4
2.1 <i>Hydraulické vlastnosti hornin</i>	4
3. TEPELNĚ TECHNICKÉ VELIČINY	15
3.1 <i>Tepelně technické veličiny</i>	17
4. VYTÁPĚNÍ OBJEKTŮ TEPELNÝMI ČERPADLY	19
4.1 <i>Úvod</i>	19
4.2 <i>Využití tepelných čerpadel</i>	20
4.3 <i>Výhody při aplikaci tepelných čerpadel</i>	20
4.4 <i>Princip funkce tepelného čerpadla</i>	21
4.5 <i>Aplikace tepelných čerpadel</i>	23
4.6 <i>Topný výkon tepelného čerpadla P_{top} (Žeravík, A., 2003)</i>	29
4.7 <i>Topný faktor tepelného čerpadla COP (Coefficient Of Performance)</i>	30
5. HORNINY JAKO ZDROJ TEPLA PRO TEPELNÉ ČERPADLO	31
6. DIMENZOVÁNÍ VRTŮ PRO TEPELNÁ ČERPADLA	33
6.1 <i>Aplikace software EED 2.0 pro dimenzování vrtů</i>	38
7. VRTY PRO TEPELNÁ ČERPADLA	43
7.1 <i>Realizace zkušebních vrtů pro areál auly a CIT TU VŠB v Ostravě - Porubě</i>	44
8. Výsledky Thermal Response Testu ve zkušebních vrtech č.1 a č.2	52
8.1 <i>Úvod</i>	52
8.1.1 <i>Navrhovaný postup TRT</i>	52
8.2 <i>Zkouška teplotní odezvy - THERMAL RESPONSE TEST Vrt č.1</i>	53
8.3 <i>Zkouška teplotní odezvy - THERMAL RESPONSE TEST Vrt č. 2</i>	59
8.4 <i>VŠB - Technická univerzita Ostrava - BTES DESIGN</i>	66
8.5 <i>THERMAL RESPONSE TESTS - ZÁVĚR</i>	69
9. Odborný odhad celkové metráže vrtů pro vytápění auly a CIT VŠB-TU Ostrava pomocí tepelných čerpadel	72
9.1 <i>Odborný odhad na základě analogického případu - vytápění městské víceúčelové haly v Opavě tepelnými čerpadly</i>	72
9.2 <i>Orientační výpočet metráže vrtů pomocí software EED 2.0</i>	73
10. Měření teploty: měřicí, řídicí, vizualizační a diagnostické systémy:	79
10.1 <i>Měřicí systém pro vzdálené měření teplot</i>	100
10.1.1 <i>Řídicí část</i>	102
10.1.2 <i>Měřicí část</i>	104
11. Závěr	111
12. Seznam literatur	112
13. Přílohy:	113
<i>Stručná geologická charakteristika širšího okolí sledované lokality</i>	113
<i>Geologická charakteristika sledované lokality</i>	122
<i>Význam LED diod na měřicí jednotce</i>	140
<i>Význam DIP přepínačů na měřicí jednotce</i>	140
<i>Schéma zapojení řídicí části měřicí jednotky</i>	141
<i>Rozložení desky plošného spoje řídicí jednotky</i>	142
<i>Schéma zapojení měřicí části</i>	143
<i>Rozložení desky plošného spoje měřicí části</i>	144
<i>Formát zprávy</i>	144
<i>Hlavní systémová obrazovka SCADA systému pro nastavování a monitorování vrtů</i>	146

<i>Servisní obrazovka SCADA systému pro konfiguraci vrtů.....</i>	146
<i>Obrazovka detailu vrtu pro rozšířené nastavování a monitorování vrtů</i>	147
<i>Obrazovka detailu vrtu pro rozšířené nastavování a monitorování vrtů</i>	147
<i>Elektronické moduly analogové části pro variantu se snímači Pt1000</i>	148
<i>Teplotní čidlo Smartec SMT160-30.....</i>	148
<i>Teplotní čidla typu PT1000</i>	149
<i>GSM modul MC35.....</i>	149
<i>Uchycení zapouzdřeného měřicího uzlu při instalaci do vrtu.....</i>	150
<i>Měřicí systém při laboratorním testování</i>	150
<i>Detail měřicího uzlu s patrnými teplotními čidly</i>	151

1. ÚVOD

Studie řeší vytápění a klimatizaci pomocí tepelných čerpadel země - voda nově budovaného objektu Auly a Centra informačních technologií, který bude součástí komplexu Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava.

Zdrojem nízkopotenciálního tepla se předpokládají zemní vrtly. Původní návrh projektu počítal s napojením budovy na CZT s klasickou výměňkovou stanicí. Klimatizace byla zajištěna chladivovými kompresory. V průběhu výstavby došlo k přehodnocení návrhu, což vedlo k variantě řešení, kdy původní zdroj tepla a zdroje chladu byly zaměněny tepelnými čerpadly.

Tepelná čerpadla by měla průměrném roce zabezpečit 82-85% dodávky tepla pro budovu. V letních měsících bude provozována klimatizace, a to buď přímým chlazením - odvodem tepla do vrtů, nebo nepřímým, kdy budou tepelná čerpadla pracovat jako chladicí zařízení. Kondenzační teplo bude podle potřeby opět dodáváno do vrtů.

Realizace projektu na vysoké škole umožní přímé zapojení tohoto systému do všech forem praktické výuky - rozborů na základě dlouhodobého monitorování systému, monitorování teplotních polí v dotčeném horninovém tělese, rozborů spotřeby tepla ap.

Projekt počítá s využitím obnovitelných zdrojů energie. Tepelná čerpadla jako zařízení pro vytápění nabývají na významu postupnou orientací české energetiky na ty výroby elektrické energie, které neprodukují spaliny, což jsou především jaderné elektrárny a dále pak vodní, větrné a solární elektrárny.

V době zpracování tohoto dokumentu byla na Státní fond životního prostředí podána žádost o poskytnutí podpory na tento projekt v rámci operačního programu Infrastruktura.

Česká republika patří k signatářským zemím Kjótského protokolu, jehož smyslem je přimět státy světa ke snížení emisí skleníkových plynů do ovzduší. Jedním z významných zdrojů těchto emisí je spalování fosilních paliv, které se mimo jiné využívají také k výrobě tepelné energie pro bydlení. Proto je kladen zvýšený důraz na využívání obnovitelných přírodních zdrojů energie pro tyto účely.

Pro návrh optimálního počtu, hloubek a rozmístění těchto vrtů je nezbytná znalost geologických, hydrogeologických a fyzikálních parametrů horninového masívu. Pro tyto účely byly počátkem r. 2005 realizovány následující kroky:

- konzultace problematiky vytápění velkých objektů pomocí tepelných čerpadel s vrtly s předním světovým odborníkem doc. Göranem Hellströmem (Lund University, Švédsko)
- provedení dvou zkušebních vrtů a jejich geologické vyhodnocení
- provedení speciálních polních zkoušek ve vrtech a jejich vyhodnocení doc. Göranem Hellströmem s cílem určit fyzikální parametry hornin nutných pro návrh optimálního systému vrtů
- výzkum, vývoj a návrh systému pro teplotní monitoring ve zkušebních vrtech
- praktická instalace systému do zkušebních vrtů včetně technologie pro bezdrátový přenos měřených dat do dispečerského pracoviště a jeho testování v provozních podmínkách
- podání návrhu projektu pro Českou grantovou agenturu s názvem XXX

2. ZÁKLADNÍ PARAMETRY GEOHYDRODYNAMICKÝCH SYSTÉMŮ

Prostorové charakteristiky kolektorských vrstev a dalších geologických těles (izolátory, poloizolátory, aj.) tvoří např. rozměry a ohraničení vrstev, charakter proměnlivosti celkové a efektivní mocnosti vrstev v ploše i v jednotlivých horizontech, tvary a rozměry oblastí se sníženou propustností, hranice kontaktu plyn – ropa – voda a její změny v průběhu těžby resp. vtlačení apod.

Fyzikálně – chemické vlastnosti geologických těles jsou dány zejména: měrnou hmotností, měrnou tíhou, celkovou (absolutní) a otevřenou pórovitostí, propustností, součinitelem propustnosti a součinitelem absolutní průtočnosti, mineralogickým složením hornin apod.

Hydraulické vlastnosti geohydrodynamických systémů vznikají především interakcí geologických těles s tělesy tekutin, patří sem např. různé druhy účinné pórovitosti, součinitel filtrace a efektivní propustnosti, součinitel hydraulické vodivosti (tlakové a hladinové), součinitel pružné jímavosti, součinitel měrné zásobnosti, jednotlivé druhy a stupně nasycení apod.

Fyzikálně – chemické vlastnosti těles tekutin, patří sem např. měrná tíha, dynamická a kinetická viskozita a její změny s teplotou a tlakem, rozpustnost plynů v kapalinách, povrchové napětí na hranicích nemísitelných tekutin, tlaky a teploty při nichž dochází k vypadávání kondenzátů, koeficient stlačitelnosti tekutin apod.

2.1 Hydraulické vlastnosti hornin

Základní pojmy

Soubor vlastností hornin a horninových těles, které se rozhodujícím způsobem uplatňují při pohybu a akumulaci podzemních tekutin (podzemní vody, ropy, plynu) v horninovém prostředí, označujeme jako *hydraulické vlastnosti hornin*. Základními hydraulickými vlastnostmi horninového prostředí je *propustnost* (schopnost pórovitého prostředí propouštět tekutiny pod vlivem hydraulického gradientu) a *pórovitost* (přítomnost pórů – tj. dutin nejrůznějšího tvaru, rozměru i původu – v hornině). Řada dalších hydraulických vlastností horninového prostředí a horninových těles je pak funkcí propustnosti, pórovitosti, geometrických charakteristik horninových těles, fyzikálních vlastností podzemních tekutin a některých dalších faktorů. Kvantitativní charakteristiky jednotlivých hydraulických vlastností pak označujeme jako *hydraulické parametry*. Z hlediska fyzikální podstaty jde jednak o charakteristiky odporové (resp. vodivostní) – koeficient propustnosti, koeficient filtrace (koeficient hydraulické vodivosti), koeficient průtočnosti, koeficient absolutní průtočnosti, koeficient hydraulické difuzivity - , jednak o charakteristiky objemové (kapacitní) – koeficient zásobnosti, koeficient měrné zásobnosti, koeficient celkové pružné kapacity, koeficienty pórovitosti.

Při charakterizování hydraulických vlastností je třeba si uvědomovat vedle definic hydraulických parametrů i definice některých jiných základních pojmů hydrogeologie a podzemní hydrauliky (Jetel 1973, 1977). Z hlediska hydrogeologické funkce horninových těles rozlišujeme *hydrogeologické kolektory* (taková horninová tělesa, která se liší od bezprostředně přilehlého horninového prostředí vyšší propustností do té míry, že se jím daleko snadněji pohybují podzemní tekutiny) a *hydrogeologické izolátory* (taková horninová tělesa, která ve srovnání s bezprostředně přilehlým horninovým prostředím daleko nesnadněji

propouštějí podzemní tekutiny). Je třeba si uvědomit, že hydrogeologická funkce horniny je relativní a není tedy jednoznačně určena absolutními hodnotami hydraulických parametrů, neboť je současně závislá i na hydraulických vlastnostech hornin v bezprostředním sousedství, takže tatáž hornina nebo horninové těleso mohou fungovat různě v různém kontextu: tak např. vrstva jemného písku, uložená v jílech, funguje jako kolektor, avšak tatáž vrstva, pokračující jako proplástek v hrubých štěrcích, má funkci izolátoru.

Zvláštním případem je hydrogeologický izolátor, uložený v takové pozici, že jím protéká za daných hydraulických podmínek nezanedbatelně velké množství podzemní tekutiny do přiléhajícího kolektoru (zpravidla přetékáním ze zvodně o vyšším napětí zhruba ve směru kolmém ke kontaktu s tímto kolektorem); izolátor v takové pozici označujeme jako poloizolátor (polopropustnou vrstvu, akvitard). Izolátor tvořící přímé nadloží (strop) daného kolektoru označujeme jako *stropní izolátor*; izolátor představující přímé podloží (počvu) daného kolektoru označujeme ve vztahu k tomuto kolektoru jako *počevní izolátor*.

Těleso podzemní vody (hydrosom) označujeme v hydrogeologii jako *zvoděň*; je definována jako hydraulicky vzájemně souvislá a jednotná akumulace gravitační podzemní vody v hornině (kolektoru). Její hranice jsou zčásti geologické, tvořené kontaktem kolektoru s izolátory a stabilní v čase i prostoru, zčásti hydrologické – volná hladina -, proměnlivé v čase i prostoru.

Další skupina pojmů se týká komplexu „hornina + podzemní tekutina“. Základním pojmem, který se v tomto smyslu nejčastěji uplatňuje v praktických výpočtech hydraulických parametrů z hydrodynamických zkoušek je *zvodněný kolektor (zvodněnec)*: je to ta část kolektoru, která je nasycena podzemní vodou (tj. která obsahuje zvoděň). Jeden nebo více zvodněnců (kolektorů nasycených podzemní vodou) vytváří spolu s přilehlými izolátory určitý *zvodněný systém*; je to vzájemně propojená soustava zvodněných kolektorů jako prostorový celek uvnitř hranic, daných určitými společnými okrajovými podmínkami (představuje soustavu, uvnitř které lze pohyb podzemní vody pokládat při hydraulické schematizaci za nezávislý na podmínkách existujících vně hranic soustavy).

Zobecněním pojmu „*zvodněný systém*“ pro podzemní tekutiny všeho druhu je pojem „*geohydrodynamický systém*“ – tj. soustava vzájemně hydrodynamicky komunikujících kolektorů a pohyblivých tekutin, jimiž jsou tyto kolektory nasyceny.

Ze základních energetických pojmů podzemní hydrauliky si připomeňme pojem „*piezometrické napětí*“ (míra velikosti celkové měrné mechanické energie vody v určitém bodě ve zvodni, určená absolutní výškou piezometrické úrovně, tj. výškou, do níž vystoupí v piezometru zapuštěném do určitého bodu ve zvodni hladina vody o jednotkové měrné tíze), *piezometrická úroveň* (úroveň, v níž se ustálí statická hladina ve vrtu, studni nebo v piezometru komunikujícím pouze s pozorovanou zvodní), *piezometrický gradient* (rozdíl v piezometrické úrovni dělený délkou proudu mezi dvěma body).

$$i_p = d(p/\gamma + z)/dL,$$

2.1

kde p = hydrostatický tlak, γ = měrná tíha kapaliny, z = polohová výška, L = délka proudu) a *hydraulický gradient* (úbytek energetické výšky na jednotku délky proudu, vyjádřený sklonem čáry energie). Při proudění podzemní vody je *piezometrický sklon* vzhledem k zanedbatelně malé rychlostní výšce prakticky totožný s hydraulickým gradientem (sklonem) a představuje sklon piezometrické hladiny v daném velmi malém úseku.

V této souvislosti je nutno upozornit na skutečnost, že piezometrická úroveň (tj. úroveň piezometrické hladiny pozorované zvodně v daném bodě) se většinou předpokládá konstantní pro všechny body na vertikále procházející danou zvodní; tato podmínka však platí pouze při nulové vertikální složce rychlosti proudění ve zvodni, takže obecně může být piezometrická úroveň různá pro různé body na téže vertikále v dané zvodni.

Celá řada termínů se týká hladin podzemní vody. Ve smyslu hydrologickém rozlišujeme hladinu *volnou* (geometrické místo bodů, které přísluší dané zvodni a v nichž je současně tlak roven tlaku atmosférickému, přičemž přes ně nevytéká voda ven ze zvodně; je to plocha omezující svrchu volnou zvodně) a hladinu *napjatou* (svrchní hraniční plocha zvodně, charakterizovaná tlakem vyšším než je tlak atmosférický; představuje svrchní ohrazení napjaté zvodně). Ve smyslu energetickém definujeme *piezometrickou hladinu* (*potenciometrickou plochu*) zvodně jako ideální plochu, představující geometrické místo bodů, kde je tlak určité zvodně roven tlaku atmosférickému – tj. geometrické místo piezometrických úrovní měřených nebo měřitelných vrtů či piezometry v dané zvodni. Piezometrická hladina napjaté zvodně se označuje jako *výtlačná hladina* (je kladná, je-li nad povrchem terénu a záporná pod povrchem).

Z hlediska ovlivnění zásahem do zvodně se rozlišuje *statická (přírodní) hladina* – hladina vody ve vrtu (studni) v klidovém stavu, kdy není její úroveň ovlivněna žádným hydraulickým zásahem do zvodně v daném objektu (odběrem nebo doplňováním vody), a *dynamická hladina* – hladina vody ve vrtu (studni), ovlivněná zásahem do zvodně v daném objektu. Podle ustálenosti v čase rozlišujeme *ustálenou hladinu* jako statickou nebo dynamickou úroveň hladiny ve vrtu (studni), která po předchozím narušení určitým hydraulickým zásahem přestala vykazovat soustavný měřitelný pokles nebo vzestup z hlediska uvažovaného časového intervalu (může ovšem vykazovat změny z hlediska režimních změn v celém zvodněném systému), a *neustálenou hladinu*, která po předchozím narušení určitým hydraulickým zásahem vykazuje soustavný měřitelný pokles či vzestup z hlediska uvažovaného časového intervalu.

Při hydraulických výpočtech se uplatňují i některé geometrické a energetické charakteristiky zvodní. Jako *mocnost zvodně* označujeme vertikální vzdálenost mezi svrchní a spodní hranicí zvodně. *Napětí zvodně* je piezometrické napětí v jednotlivých bodech zvodně (je-li nutno přiřadit zvodni jedinou hodnotu napětí v průmětu do vodorovné roviny – např. v mapě -, odvodí se zpravidla z úrovně výsledné statické hladiny ve vrtu otevírajícím zvodně v celé mocnosti). Výškový rozdíl mezi úrovní piezometrické hladiny a svrchní hranicí napjaté zvodně označujeme jako *napjatost zvodně*. Vertikální vzdálenost mezi spodní hranicí zvodně a piezometrickou hladinou vztaženou k této spodní hranici označujeme jako *bazální tlakovou výšku* (je to tlaková výška v bodu ležícím na spodní hranici zvodně).

Hydraulické podmínky, kterými se řídí výměna vody mezi zvodněným systémem a jeho okolím se označuje jako *okrajové podmínky zvodněného systému* (jejich hmotnou realizací v přírodě jsou hranice zvodněného systému). *Hranice zvodněného systému* je definována jako čára nebo plocha, která omezuje zvodněný systém a odděluje ho od jiných zvodněných systémů; je to čára nebo plocha, na níž se zastavuje šíření účinků zásahů do zvodněného systému. Jako *otevřenou* označujeme takovou hranici zvodněného systému, přes kterou může docházet k výměně vody s okolím; může být *napájecí* (dochází-li na ní k napájení systému) nebo *odvodňovací*. Na *uzavřené* hranici není možná výměna vody

s okolím. Je-li hranice zvodněného systému tvořena poloizolátorem, označuje se jako *polopropustná*.

Jako vstupní údaje pro výpočty hydraulických parametrů dosazujeme prvotní údaje měřené při hydrodynamické zkoušce: *vydatnost* – tj. množství tekutiny odebírané z objektu za jednotku času, a *snížení hladiny* – rozdíl mezi původní (odběrem neovlivněnou) úrovní piezometrické hladiny a mezi úrovní hladiny ovlivněné odběrem podzemní kapaliny; ve vrtu (studni) se tak označuje rozdíl mezi statickou a dynamickou hladinou. Podíl vydatnosti a odpovídajícího snížení se označuje jako *specifická vydatnost*; její reciproká hodnota je *specifické snížení*.

Vzdálenost, do které v daném okamžiku dosahuje účinek odběru vody ze zvodně měřitelným snížením hladiny, se nazývá *dosah deprese*. Tlak a teplota uvnitř kolektoru (na rozdíl od tlaku a teploty ve vrtu, na povrchu terénu apod.) se označuje jako *kolektorový tlak a kolektorová teplota* (souhrnně jako *kolektorové podmínky*). *Kolektorová tekutina* je pak tekutina přírodního původu (voda, ropa, plyn), nacházející se uvnitř kolektoru nebo bezprostředně z kolektoru odebraná.

Za ustálené proudění pokládáme takové proudění, při němž se v daném bodě nemění vektor rychlosti proudění v čase (při odběrové zkoušce to znamená, že se nemění odebíraná vydatnost ani příslušné snížení), zatímco při *neustáleném proudění* se v daném bodě mění směr i velikost rychlosti proudění s časem. Jako *kvaziustálené* pak označujeme takové neustálené proudění, kde se sice v daném bodě mění snížení s časem, avšak piezometrický sklon již zůstává konstantní a změna snížení je přímo úměrná logaritmu času.

Hydraulické parametry geohydrodynamických systémů

Pro charakteristiku hydraulických parametrů hornin, horninových těles a geohydrodynamických systémů se v praxi používá několika soustav hydraulických parametrů, přičemž každá z těchto soustav má poněkud odlišné uplatnění. Přehled o těchto soustavách podává tabulka 2.1.

Tabulka 2.1

Hydraulické parametry hornin a geohydrodynamických systémů a jejich vztahy

		veličina	striktně hydraulicky definované parametry		přibližně srovnávací parametry	
			systém obecných parametrů pro vodu, ropu i plyn	systém speciálních parametrů pro běžné podzemní vody	nelogaritmické	logaritmické
odporové parametry uplatňující se při ustáleném i neustáleném proudění	propustnost	absolutní propustnost	koeficient K propustnosti			
		propustnost pro vodu ⁺ /měrná hydraulická vodivost/		koeficient k filtrace	q´= q/M	index ++ propustnosti Z = log /10 ⁶ q´/
	průtočnost	absolutní průtočnost	koeficient absolutní průtočnosti T _a			
		průtočnost zvodněného kolektoru		koeficient průtočnosti T	specifická vydatnost q = Q/s	index ++ průtočnosti Y = log /10 ⁶ q/
odporové kapacitní	parametry uplatňující se pouze při neustáleném proudění	difuzivita	rychlost šíření změn piezometrického napětí v systému „kolektor-kolektorová kapalina“	koeficient tlakové vodivosti κ	koeficient hydraulické difuzivity a	
kapacitní /ekvivačně akumulací/		statická kapacita	měrná statická kapacita systému „kolektor-kolektorová kapalina“	koeficient pružné kapacity β	koeficient měrné zásobnosti S _s	
			celková statická kapacita systému „kolektor-kolektorová kapalina“		koeficient zásobnosti s	
			pórovitosti různých kategorií	koeficienty pórovitosti různých kategorií		

⁺ pro vodu o dané kinematické viskozitě; ⁺⁺ pro výpočet idendexu Z a Y se dosazuje q v $l.s^{-1}.m^{-1}$ a M v m
(Q = ustálená vydatnost při snížení hladiny s, M = mocnost kolektoru nasycená kolektorovou kapalinou)

Při hydrologickém studiu pohybu, akumulace a evakuace tzv. prostých (tj. málo mineralizovaných a studených) podzemních vod, zaměřeném na využití zdrojů podzemních vod pro vodovodní zásobení, na řešení otázek stavební geologie, hydrotechnických problémů apod. se běžně používá soustava *speciálních hydraulických parametrů*, charakterizujících filtraci prosté podzemní vody o určité konstantní kinematické viskozitě, která odpovídá daným podmínkám v nehluboko uloženém kolektoru. Naproti tomu všude tam, kde studujeme pohyb tekutin o vlastnostech odlišných od běžné podzemní vody mělko uložených zvodní – tj. při studiu pohybu a akumulace podzemních vod o zvýšené teplotě a mineralizaci a zejména při studiu ložisek ropy nebo plynu -, je nutno použít *obecné soustavy hydraulických parametrů*, kterou lze označit jako „absolutní“, neboť je použitelná nezávisle na druhu a vlastnostech kolektorové tekutiny.

Geometrické charakteristiky

K o e f i c i e n t p r o p u s t n o s t i K – míra absolutní propustnosti pórovitého prostředí: je číselně roven hmotnostnímu průtoku Q_p (kg.s^{-1}) tekutiny o jednotkové kinematické viskozitě $\nu = 1 \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, který prochází jednotkovým filtračním průřezem $A = 1 \text{ m}^2$ daného pórovitého prostředí účinkem jednotkového tlakového gradientu $d(p + \gamma z)/dr = 1 \text{ Pa.m}^{-1}$ působícího kolmo k ploše průtočného průřezu, takže

$$K = \frac{\nu Q \rho}{A d(p + \gamma z)/dr},$$

2.2

kde ν = kinematická viskozita tekutiny, Q = objemový průtok, ρ = hydrostatický tlak, γ = měrná tíha tekutiny, z = polohová výška, r = délka dráhy filtrace měřená kolmo k ploše filtračního průřezu. Koeficient propustnosti je v ideálním případě (pro stabilní a inertní prostředí s dostatečně velkými póry) geometrickou konstantou prostředí, nezávislou na povaze propustnosti tekutiny. Jeho vztah k ostatním vnitřním geometrickým charakteristikám horniny bývá vyjadřován jako

$$K = d_e^2 \cdot f_1(m_0) \cdot f_2(E),$$

2.3

kde d_e = efektivní průměr zrna, Funkce f_1 a f_2 vyjadřují závislost propustnosti na otevřené pórovitosti m_0 a na struktuře a tvaru pórů E ; jejich součin (bezrozměrná veličina) je označován jako Slichterovo číslo

$$Sl(m_0, E) = f_1(m_0) \cdot f_2(E).$$

2.4

Pro $f_1(m_0)$ se nejčastěji uvádí vztah

$$f_1(m_0) = m_0^3 / (1 - m_0)^2,$$

2.5

hodnota $f_2(E)$ se uvádí v rozpětí 1/100-1/220 (často okolo 1/160). Jak vyplývá z rovnic (2.2) i (2.3), má koeficient propustnosti rozměr plochy, takže se vyjadřuje ve čtverečních metrech (příp. v $\mu\text{m}^2 = 10^{-12} \text{ m}^2$).

Pro přepočet z dříve používaných jednotek „darcy“ (D) platí vztah $1 D = 0,987 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2$ (1 darcy byl definován jako propustnost prostředí, které propouští příčným průřezem 1 cm^2 průtok $1 \text{ cm}^3.\text{s}^{-1}$ tekutiny o měrné tíze 1 p.cm^{-3} a dynamické viskozitě 1 cP účinkem tlakového gradientu 1 atm.cm^{-1}). Někdy se však omylem zaměňovala při odvozování hodnot

v jednotkách darcy fyzikální atmosféra (atm) za technickou (at) a vycházelo se z tlakového gradientu 1 at.cm^{-1} ; pro přepočet takto stanovených hodnot potom ovšem platí vztah $1 \text{ „D“} = 1,02 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$.

Propustnost hornin lze v celém rozsahu hodnot uplatňujících se v hydrogeologii s dostatečnou citlivostí klasifikovat podle stupnice uvedené v tabulce 2.2. Charakteristické hodnoty některých kolektorů v ČR uvádí tabulka 2.3.

K o e f i c i e n t a b s o l u t n í p r ů t o č n o s t i T_a – míra schopnosti kolektoru o určité mocnosti propouštět tekutinu účinkem tlakového gradientu; pro vodorovně uložený kolektor o mocnosti M , koeficientu propustnosti K a polohové výšce báze kolektoru z_b je definován jako

$$\begin{aligned} z &= z_b + M \\ T_a &= \int_{z=z_b}^z K dz, \\ z &= z_b \end{aligned} \quad 2.6$$

pro homogenní vrstvý kolektor je definován jako součin koeficientu propustnosti K a mocnosti zvodněného kolektoru M

$$T_a = K.M; \quad 2.7$$

má rozměr objemu a vyjadřuje se v krychlových metrech.

Tabulka 2.2
Klasifikace propustnosti hornin

koeficient propustnosti K m ² μm ²	třída propustnosti	označení hornin podle stupně propustnosti	koeficient filtrace k ^{+/} m/s	index propustnosti Z ^{++/}
1.10 ⁻⁹ 1000	I	velmi silně propustné	1.10 ⁻²	7
1.10 ⁻¹⁰ 100	II	silně propustné	1.10 ⁻³	6
1.10 ⁻¹¹ 10	III	dosti silně propustné	1.10 ⁻⁴	5
1.10 ⁻¹² 1	IV	mírně propustné	1.10 ⁻⁵	4
1.10 ⁻¹³ 0,1	V	dosti slabě propustné	1.10 ⁻⁶	3
1.10 ⁻¹⁴ 0,01	VI	slabě propustné	1.10 ⁻⁷	2
1.10 ⁻¹⁵ 0,001	VII	velmi slabě propustné	1.10 ⁻⁸	1
	VIII	nepatrně propustné		

^{+/} pro vodu o měrné tíze $\gamma = 1.10^4 \text{ N/m}^3$ a dynamické viskozitě $\mu = 1.10^{-3} \text{ Pa.s}$

^{++/} pro logaritmickou přepočtovou diferenci $d^0 = 0$

Pozn.: Dříve používaná jednotka 1 darcy odpovídá zhruba 1 cm^2 .

Tabulka 2.3

Charakteristické hodnoty propustnosti některých hornin v ČR a SR
(třída propustnosti, koeficient filtrace v m/s)

KVARTÉR	ledovcové morény	Vysoké Tatry	I-III	$(0,1-20).10^{-3}$
	glaciální štěrky a písky	Opavsko	I-IV	$(0,9.40).10^{-3}$
	fluviální štěrky a písky	střední Jizera	II	$1,3.10^{-3}$
		dolní Jizera (Káraný)	III	4.10^{-4}
		Labe (Chvaletice)	III	$(3-10).10^{-4}$
		Svitava (Brno)	II-III	$(0,1-5).10^{-3}$
		Hornomoravský úval	III-IV	$(0,1-7).10^{-4}$
		Dolnomoravský úval	II-III	$(2-14).10^{-4}$
		Morava (Záhorská nížina)	II-IV	$(0,7-12).10^{-4}$
		Váh (Žilina)	II	$(1-7).10^{-3}$
NEO GÉN	štěrk a písky štěrk a písky jemnozrnné písky	Nitra (Šurany, Komjatice)	II-III	$(3-12).10^{-4}$
		Dunaj (Devín)	I-II	$(0,1-6).10^{-2}$
		Dunaj (Šamorín)	II-III	$(0,7-2).10^{-3}$
	váté písky	Dunaj (Gabčíkovo)	II	6.10^{-3}
		Poprad (Svit-Poprad)	III-IV	$(0,7-10).10^{-4}$
		Hornád (Košice)	II-III	$(0,1-10).10^{-3}$
	proluviální štěrky a písky	Jablunkovsko, Třinecko	II-VI	2.10^{-5}
		Záhorská nížina	III-IV	$(0,7-4).10^{-4}$
	hlinité a prachovité písky	Záhorská nížina	III-IV	$(0,8-1,7).10^{-4}$
KŘÍDA	fluviální a eolitické hlíny	Dunaj (Kravany)	III-IV	$(0,5-3).10^{-4}$
		Hornomoravský úval	VI-VII	$(0,4-3).10^{-7}$
	štěrk a písky	Prostějovsko	III	$(1-7).10^{-4}$
	štěrk a písky	Dyjskosvratecký úval	IV-V	$(0,1-10).10^{-5}$
	jemnozrnné písky	Brněnsko	IV	$(5-9).10^{-5}$
	prokřemenělé pískovce (paleogén)	Sokolovsko	IV-V	1.10^{-5}
	křemenné pískovce (coniak)	lužická oblast	IV	$(1-5).10^{-5}$
	křemenné pískovce (střední turon)	lužická oblast	III-IV	$1,3.10^{-4}$
	křemenné pískovce (cenoman)	lužická oblast	IV	2.10^{-5}
	pískovce (cenoman)	královédvorská synklinála	V-VI	1.10^{-6}
	godulské pískovce do hloubky 35 m	Moravskoslezské Beskydy	IV-V	5.10^{-6}
	písčité spongility (spodní turon)	východní Čechy	V-VI	$(0,1-10).10^{-6}$
	pískovce, arkózy	permokarbon v podloží české křídly, hloubka 200 m	V	1.10^{-6}
	pískovce, arkózy	permokarbon v podloží české křídly, hloubka 200 m	VIII	7.10^{-10}

Pozn.: Je-li uvedena pouze jediná hodnota, odpovídá průměru.

Geometricko-látková charakteristiky

Odporové charakteristiky

K o f i c i e n t f i l t r a c e k – míra propustnosti pórovitého prostředí pro vodu o dané kinematické viskozitě; je číselně roven filtrační rychlosti při jednotlivém piezometrickém gradientu (tj. objemovém průtoku vody o dané kinematické viskozitě jednotkovým průtočným průřezem při jednotkovém piezometrickém sklonu). Koeficient filtrace je funkcí koeficientu propustnosti K , kinematické viskozitě ν a tíhového zrychlení g :

$$k = K \cdot g / \nu = K \cdot \gamma / \mu \quad 2.8$$

(γ = měrná tíha, μ = dynamická viskozita); má rozměr rychlosti a vyjadřuje se v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

K o e f i c i e n t p r ů t o č n o s t i (transmisivity) T – míra schopnosti zvodněného kolektoru o určité mocnosti propouštět určitý objem vody o dané kinematické viskozitě účinkem piezometrického gradientu; je číselně roven objemovému průtoku vody o dané kinematické viskozitě průtočným průřezem o jednotkové šířce a o výšce rovné mocnosti zvodněného kolektoru při jednotkovém piezometrickém gradientu; má rozměr plochy dělené časem a vyjadřuje se v $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Pro vodorovně uložený zvodněný kolektor o mocnosti M a polohové výšce báze zvodněného kolektoru z_b je definován jako

$$\begin{aligned} z &= z_b + M \\ T_a &= \int k \, dz, \\ z &= z_b \end{aligned} \quad 2.9$$

kde k = koeficient filtrace, z = geodetická (polohová) výška; pro homogenní zvodněný kolektor představuje součin koeficientu filtrace a mocnosti homogenního zvodněného kolektoru.

$$T = k \cdot M \quad 2.10$$

K o e f i c i e n t n e t ě s n o s t i k'/M' - míra schopnosti poloizolátoru propouštět vodu o dané kinematické viskozitě účinkem rozdílu v piezometrickém napětí na svrchní a spodní hraniční ploše poloizolátoru. Pro přetékaní ve směru kolmém k hraničním plochám poloizolátoru je definován jako podíl koeficientu filtrace poloizolátoru ve směru přetékaní k' a mocnosti poloizolátoru M' ; pro obecný směr přetékaní se koeficient filtrace poloizolátoru v příslušném směru dělí dráhou filtrace mezi svrchní a spodní hraniční plochou poloizolátoru. Koeficient netěsnosti má rozměr reciprokého času a vyjadřuje se v s^{-1} .

Kapacitní (evakuačně-akumulační) charakteristiky

K o e f i c i e n t z á s o b n o s t i (storativity) S – míra schopnosti zvodněného kolektoru uvolnit při poklesu piezometrického napětí vodu ze statické zásoby v tomto zvodněném kolektoru; je definován jako poměr objemu vody, uvolněné při jednotkovém snížení piezometrického napětí ze statické zásoby v hranolu zvodněného kolektoru o výšce rovné mocnosti zvodněného kolektoru a o jednotkové základně, k objemu tohoto hranolu. Koeficient zásobnosti je bezrozměrná veličina, vyjádřená desetinným zlomkem, vždy menším než 1.

K o e f i c i e n t v o l n é z á s o b n o s t i S_v – koeficient zásobnosti, vyjadřující relativní objem vody uvolněné ze statické zásoby v hranolu zvodněného kolektoru o výšce mocnosti zvodněného kolektoru a o jednotkové základně vyprázdněním pórů při jednotkovém poklesu volné hladiny.

K o e f i c i e n t p r u ž n é z á s o b n o s t i S_p – koeficient zásobnosti, vyjadřující relativní objem vody uvolněné ze statické zásoby v hranolu zvodněného kolektoru o výšce rovné mocnosti zvodněného kolektoru a o jednotkové základně v důsledku objemových změn, souvisejících s pružností (objemovou stlačitelností) zvodněného kolektoru při jednotkovém snížení piezometrického napětí; jeho velikost je určena vztahem (Jacob 1950)

$$S_p = \gamma \cdot M(m_o\beta_v + \beta_h) = \gamma \cdot M \cdot \beta^* \quad 2.11$$

kde γ = měrná tíha vody, M = mocnost zvodněného kolektoru, m_o = otevřená pórovitost, β_v = objemová stlačitelnost vody, β_h = objemová stlačitelnost horninového skeletu kolektoru, β^* = koeficient celkové pružné kapacity zvodněného kolektoru.

K o e f i c i e n t m ě r n é z á s o b n o s t i S_s – míra schopnosti zvodněného pórovitého prostředí uvolnit vodu ze statické zásoby při snížení piezometrického napětí; je určen jako objem vody uvolněné ze statické zásoby v objemové jednotce zvodněného pórovitého prostředí při jednotkovém snížení piezometrického napětí, a představuje tedy podíl koeficientu zásobnosti S a mocnosti zvodněného kolektoru M

$$S_s = S/M \quad 2.12$$

Má rozměr reciproké délky a vyjádří se v m^{-1} .

K o e f i c i e n t m ě r n é v o l n é z á s o b n o s t i S_{sv} – podíl koeficientu volné zásobnosti S_v a mocnosti zvodněného kolektoru M

$$S_{sv} = S_v / M \quad 2.13$$

(rozměr a jednotky jako u koeficientu měrné zásobnosti).

K o e f i c i e n t m ě r n é p r u ž n é z á s o b n o s t i S_{sp} – objem vody, uvolněný ze statické zásoby v objemové jednotce zvodněného pórovitého prostředí objemovými změnami souvisejícími s pružností (objemovou stlačitelností) zvodněného pórovitého prostředí při jednotkovém snížení piezometrického napětí; rovná se podílu koeficientu pružné zásobnosti zvodněného kolektoru S_p a jeho mocnosti M , a je tedy roven i součinu měrné tíhy vody a koeficientu celkové pružné kapacity zvodněného kolektoru β^*

$$S_{sp} = S_p/M = \gamma\beta^* \quad 2.14$$

O b j e m o v á s t l a č i t e l n o s t v o d y β_v = měrná veličina objemové změny vody při změně tlaku; představuje záporný diferenciální podíl objemu vody a tlaku, dělený původním objemem pozorovaného množství vody V_v

$$\beta_v = (1/V_v) (dV_v/dp) \quad 2.15$$

O b j e m o v á s t l a č i t e l n o s t h o r n i n o v é h o s k e l e t u β_h – měrná veličina objemové změny horninového skeletu při změně tlaku; představuje záporný diferenciální podíl objemu horninového skeletu V_h a tlaku p , dělený původním objemem pozorovaného množství horninového skeletu

$$\beta_h = (1/V_h) (dV_h/dp) \quad 2.16$$

(rozměr a jednotky jako u objemové stlačitelnosti vody).

K o e f i c i e n t c e l k o v é p r u ž n é k a p a c i t y z v o d n ě n ě h o k o l e k t o r u β^* – měrná veličina výsledné objemové změny systému „kolektor + voda“ při změně tlaku; je určen jako objem vody, který se uvolní v důsledku stlačitelnosti vody a horniny z jednotkového objemu zvodněného kolektoru při jednotkovém snížení kolektorového tlaku

$$\beta^* = m_o \beta_v + \beta_h \quad 2.17$$

(m_o = otevřená pórovitost); tento parametr lze zobecnit pro systém „kolektor + kolektorová tekutina“ a označit pak jako „koeficient celkové pružné kapacity nasyceného kolektoru“.

Kapacitně odporové charakteristiky

K o e f i c i e n t h y d r a u l i c k é d i f u z i v i t y α – míra hydraulické difuzivity (schopnost šíření změn piezometrického napětí) zvodněného systému, definovaná jako podíl koeficientu průtočnosti T a koeficientu zásobnosti S (čili jako podíl koeficientu filtrace k a koeficientu měrné zásobnosti S_s)

$$\alpha = T/S = k/S_s \quad 2.18$$

Má rozměr plochy dělené časem a je vyjádřen v $m^2 \cdot s^{-1}$.

K o e f i c i e n t t l a k o v é v o d i v o s t i α_p – koeficient hydraulické difuzivity zvodněného kolektoru s napjatou zvodní (rozměr a jednotky jako u koeficientu hydraulické difuzivity).

K o e f i c i e n t h l a d i n o v é v o d i v o s t i α_h – koeficient hydraulické difuzivity zvodněného kolektoru s volnou zvodní (rozměr a jednotky viz koeficient hydraulické difuzivity).

3. TEPELNĚ TECHNICKÉ VELIČINY

Při výzkumu tepelné kapacity geohydrodynamických systémů bude nutno stanovovat tepelně technické veličiny a faktory, které je budou ovlivňovat. Při jejich určování můžeme vycházet z poznatků a metodiky využívané ve stavebnictví. Pro přípravu matematických modelů bude nutno upravit terminologii a znění některých definic.

Základní využitelné veličiny

Teplo, množství tepla Q v J (Joule) – je druh energie, která existuje na rozhraní dvou systémů s různými teplotami. Obvykle se jedná o teplo – energii dodanou nebo odebranou (např. množství tepla dodaného do vytápěného prostoru k zajištění požadované teploty).

V technické praxi používané jednotky:

1 Wh = 3,6 kJ

1 kWh = 3,6 MJ

1 MWh = 3,6 GJ 1 GJ = 2277,7 kWh 1 GJ = 0,2388 Gcal 1 Gcal = 4,1868 GJ

Poznámka: Pro energetické bilance je často potřebná přepočítávací tabulka energetických ekvivalentů.

<i>Elektřina</i>	<i>3,6 GJ/MWh</i>
<i>Zemní plyn</i>	<i>33,41 GJ/1000 m³</i>
<i>Svítiplyn</i>	<i>14,45 GJ/1000 m³</i>
<i>Motorová nafta</i>	<i>42,50 GJ/1000 kg</i>
<i>LTO</i>	<i>42,49 GJ/1000 kg</i>

Tepelný tok ϕ ve W (Watt) – množství tepla, které projde rozhraním (povrchem) za jednotku času. Tepelný tok prostupující vnější stěnou z vytápěného prostoru do vnějšího prostředí nebo vnitřní stěnou do nevytápěného vnitřního prostoru v zimním období se nazývá tepelná ztráta. Tepelný tok proudící z vnějšího prostředí do vnitřního prostředí např. vlivem oslunění se nazývá tepelný zisk.

Součinitel tepelné vodivosti λ ve $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ – za definovaných podmínek vyjadřuje schopnost homogenní vrstvy materiálu vést teplo. Hodnota součinitele tepelné vodivosti udává množství tepla proudícího homogenní vrstvou materiálu o tloušťce 1 m, je-li rozdíl povrchových teplot 1 K.

Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti λ_{ev} ve $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ – za definovaných podmínek vyjadřuje schopnost nehomogenní vrstvy materiálu vést teplo. Nehomogenní vrstva materiálu je vrstva sestávající z různých materiálů kolmo i ve směru tloušťky dané vrstvy.

Tepelný odpor R v $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ vyjadřuje tepelně izolační schopnost vrstvy materiálu, popř. nehomogenní vrstvy. Tepelné odpory jednotlivých vrstev konstrukce se dají sčítat.

Součinitel postupu tepla k , v přejímaných ČSN EN se značí U , ve $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ – udává tepelný tok ve Watech, který prostoupí plochou 1 m² konstrukce při rozdílu 1 K. Jedná se o jednotkovou tepelnou ztrátu prostupem tepla vztaženou na plochu 1 m² dané stavební konstrukce (nebo nehomogenní vrstvy) a rozdíl teplot prostředí 1 K, které odděluje. Součinitelé postupu tepla dvou konstrukcí (vrstev) se nedají sčítat.

Faktor difúzního odporu μ vyjadřuje relativní schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí. Číselně je roven podílu difúzního odporu materiálu a difúzního odporu vrstvy vzduchu o téže tloušťce. Určuje tedy, kolikrát je difúzní odpor daného materiálu větší než difúzní odpor vrstvy vzduchu o stejné tloušťce.

Teplotní pole – rozložení teplot ve sledované ploše, např. na vnitřním povrchu stěny, nebo ve sledovaném průřezu konstrukce v daném časovém okamžiku.

Tepelný most – oblast konstrukce, kde tepelný tok prostupující touto oblastí je vyšší než oblastí na ní navazující. Důsledkem tepelného mostu je deformace teplotního pole, kde v oblasti tepelného mostu dochází v zimním období k poklesu vnitřní povrchové teploty.

Parametry vnějšího a vnitřního prostředí

- **Parametry vnějšího prostředí** – výpočtová venkovní teplota t_e se stanoví v závislosti na zeměpisné poloze posuzovaného objektu. Pro území České republiky platí dvě základní venkovní teploty:
 $t_e = -15\text{ °C}$ v I. teplotní oblasti
 $t_e = -18\text{ °C}$ v II. teplotní oblasti
kde geografická vymezení teplotních oblastí stanoví ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění ve znění změny č. 1 z 02.99. Převážná část území ČR se nachází v I. teplotní oblasti.
- **Parametry vnitřního prostředí** – výpočtová teplota vnitřního vzduchu t_{ap} a výpočtová relativní vlhkost vnitřního vzduchu ϕ_{ip} objektů pozemních staveb se stanoví podle jejich účelu a užití podle ČSN 06 0210 s tím, že výpočtová teplota vnitřního vzduchu t_{ap} se stanoví z hodnoty výpočtové vnitřní teploty (tzv. výsledné teploty) t_i podle vztahu:
 $t_{ap} = t_i + 1,0$ pro obytné a občanské stavby s převážně dlouhodobým pobytem lidí
+ 1,5 pro ostatní občanské stavby a stavby průmyslové s velmi lehkou prací.

Vlhkost materiálu

Vlhkost materiálu zabudovaného do stavební konstrukce, která se po dobu užívání (provozu) ustálí na určité hodnotě, závisí na druhu stavebního materiálu (jeho ustálené sorpční vlhkosti), druhu stavební konstrukce (konstrukce vnější, vnitřní apod.) a vlhkosti zátěži, které je konstrukce vystavena.

Normativní požadavky – normové hodnoty technických požadavků

Stavební konstrukce musí vyhovět normovým požadavkům (normovým hodnotám technických požadavků) v rozsahu § 31 odst. (3) vyhlášky č. 137/1998 Sb. uvedeným v ČSN 73 0540-2. Jedná se o požadavky na tepelný odpor.

Tepelný odpor konstrukce – součinitel prostupu tepla konstrukcí

Normativní hodnoty tepelného odporu se stanoví výpočtem v návaznosti na:

1. druh konstrukce (obvodová svislá stěna, střecha, vnitřní strop, strop pod nevytápěným prostorem)
2. tepelnou akumulaci konstrukce
3. teplotní zatížení konstrukce – rozdíl teplot prostředí, která odděluje
4. typ budov
5. způsob vytápění vnitřních prostor, které konstrukce odděluje
6. úroveň požadavků uživatelů.

3.1 Tepelně technické veličiny

Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti je základní tepelně technickou veličinou, kterou se v technické praxi charakterizuje schopnost materiálu sdílet teplo, tedy veličinou zahrnující všechny složky sdílení tepla – vedením, prouděním a sáláním.

Pro praktickou aplikaci této veličiny je rozhodující znalost veličin, které ji zásadním způsobem ovlivňují. Při stanovení její výpočtové hodnoty proto musí být zohledněno teplotní a vlhkostní namáhání materiálu ve stavení konstrukci.

Mezi určující veličiny součinitele tepelné vodivosti náleží zejména:

- objemová hmotnost (měrná hmotnost, pórovitost)
- vlhkost
- teplota
- směr tepelného toku u nesterjnorodých materiálů (např. cihelný zdicí prvek s otvory).

Pro potřeby navrhování a posuzování stavebních konstrukcí bytových a občanských staveb je postačující deklarovat hodnotu součinitele tepelné vodivosti v návaznosti na objemovou hmotnost a vlhkost materiálu. Tato skutečnost je zohledněna při stanovení výpočtových hodnot součinitele tepelné vodivosti podle ČSN 73 0540-3.

Objemová hmotnost materiálu (výrobku) je obvykle svázána s typem (značkou) výrobku a je pro daný typ výrobku identifikačním prvkem (značkou), např. beton s objemovou hmotností 2100 kg.m^{-3} , cihlobeton 1300 kg.m^{-3} apod.

Obvykle platí, že součinitel tepelné vodivosti se zvyšuje s nárůstem objemové hmotnosti, kde tato závislost je lineární, popř. křivková. Lineární závislost vykazují např. hutné i lehké betony a zdicí malty a omítky.

Při parabolické závislosti existuje tzv. optimální objemová hmotnost, při které je nejnižší hodnota součinitele tepelné vodivosti. Strmost ramene (ramen) paraboly je dána velikostí, tvarem a distribucí pórů (dutin). Strmost závislosti se také obvykle zvyšuje s nárůstem vlhkosti materiálu.

Vlhkost materiálu je faktorem významným způsobem ovlivňujícím součinitel tepelné vodivosti. Příčinou je skutečnost, že součinitel tepelné vodivosti vody v pórech je přibližně $\lambda = (0,024-0,028) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ v pórech o průměru 0,1 až 1,0 mm. Znalost závislosti součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti materiálu dané objemové hmotnosti má nezastupitelné místo při stanovení výpočtové hodnoty λ_p . Znalost závislosti umožňuje též pro danou okamžitou vlhkost materiálu stanovenou při stavebním průzkumu stavební konstrukce stanovit hodnotu součinitele tepelné vodivosti jako nutný podklad pro výpočet skutečné hodnoty tepelného odporu sanované konstrukce.

Z uvedených závislostí je zřejmé, že vliv vlhkosti na součinitel tepelné vodivosti je výrazný. Při aplikaci staviv v objektech pozemních staveb se nemůže nalézat stavební pórezní materiál v suchém stavu. Proto není možné provádět hodnocení tepelně izolačních schopností materiálů na základě znalosti pouze hodnoty součinitele tepelné vodivosti v suchém stavu. Obdobně tak měření součinitele tepelné vodivosti pórezních materiálů pouze v suchém stavu, bez stanovení závislosti na vlhkost a bez stanovení a následné deklarace objemové hmotnosti, nemá praktický význam.

Ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti

Ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti udává tepelnou vodivost nehomogenní vrstvy stejné tloušťky, která se v ploše nebo v průřezu může sestávat z různých druhů materiálů. Hovoří se tak o nestejnorodé vrstvě s různými materiály ve směru tepelného toku (teplotního spádu) a kolmo na směr tepelného toku.

4. VYTÁPĚNÍ OBJEKTŮ TEPELNÝMI ČERPADLY

4.1 Úvod

Konvenční systémy vytápění stavebních objektů doposud ve velké míře využívají spalování neobnovitelných zdrojů energie – fosilních paliv (uhlí, nafta, zemní plyn, propan). Přitom dochází k uvolňování CO₂ do atmosféry, což má jednak negativní vliv na kvalitu ovzduší a jednak přispívá ke globálnímu oteplování. Např. za uplynulé století se průměrná celosvětová teplota zvýšila o 0,6⁰C.

Od počátku světové průmyslové revoluce za posledních 150 let stoupl obsah CO₂ v atmosféře z cca 280 ppm na 360 ppm, tj. o 30%. Obsah CO₂ v atmosféře by měl podle odhadů stoupnout do r. 2100 na dvoj- až trojnásobek úrovně před průmyslovou revolucí.

Průmyslově vyspělé státy ve snaze zmírnit tento nepříznivý vývoj začaly **používat k vytápění systému přenosu tepla z jednoho místa na druhé, aniž dochází ke spalování**. Tohoto systému vytápění využívají např. také **tepelná čerpadla**. Ačkoliv první tepelné čerpadlo zkonstruoval skotský matematik a fyzik Wiliam Kelvin již koncem 19. století, k jejich praktickému rozšíření dochází až v 70. letech minulého století, a to zejména v souvislosti s ropnou krizí. Jednalo se zejména o vzduchová tepelná čerpadla v USA.

Přibližný počet instalací tepelných čerpadel (s výjimkou systému vzduch/vzduch) za posledních 5 let je ve vybraných zemích následující (zdroj: Hospodářské noviny):

Stát/rok	2000	2001	2002	2003	2004
USA	140 000	142 500	145 400	148 300	150 000
Japonsko	2 000	5 000	35 000	80 600	120 000
Švédsko	24 000	36 000	40 000	48 800	60 000
Čína	5 000	10 000	15 000	20 000	23 000
Francie	7 500	10 000	12 500	15 300	18 000
Německo	9 200	13 100	12 300	13 500	16 000
Švýcarsko	6 900	7200	7 600	8 700	10 000
Kanada	4 500	5 500	6 500	7 500	8 500
Rakousko	4 890	4 840	5 360	5 980	160 000
Nizozemsko	1500	1500	1500	1 600	1 600
Norsko	3 000	2 000	2 000	2 500	2 200
Finsko	2 700	2 000	2 000	2 000	2 000
Česká republika	400	600	800	1 000	1 500
Dánsko	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Polsko	400	500	600	700	1 000
Velká Británie	100	200	300	400	600

Podle některých odhadů by mohl počet tepelných čerpadel v České republice stoupnout až na 80 000 ks do r. 2010 vzhledem k závazkům, které naše země podepsala v oblasti využívání obnovitelných zdrojů energie v rámci EU. Samotná EU plánuje instalovat cca 6 miliónů tepelných čerpadel do r. 2010.

4.2 Využití tepelných čerpadel

Účelem instalace tepelného čerpadla je:

- celoroční vytápění stavebních objektů,
- klimatizace objektů,
- příprava teplé užitkové vody,
- ohřev nebo dohřev vody v bazénu.

Tepelná čerpadla jsou rovněž používána v průmyslu, a to jako součást různých technologií např. pro dohřev nebo ochlazování kapalin nebo vysoušení (průmysl plastických hmot, potravinářský a dřevozpracující průmysl).

Tepelné čerpadlo se používá pro vytápění jak novostaveb, tak starších řádně zateplených objektů. Je nutné zdůraznit, že každý objekt musí nejdříve posoudit odborná firma - instalatér tepelného čerpadla, která rovněž zohlední individuální nároky investora. Tato firma obvykle ve spolupráci s projektantem stavby a projektantem-topenářem vypracuje projekt pro instalaci tepelného čerpadla do otopného systému stavby. Při dimenzování topného výkonu tepelných čerpadel se vychází z tepelných ztrát objektu a požadavku na množství teplé užitkové vody dle příslušných ČSN.

Z hlediska typu otopného systému se pro vytápění tepelnými čerpadly musí použít teplovodní systém, a to buď s radiátory nebo podlahovým topením.

4.3 Výhody při aplikaci tepelných čerpadel

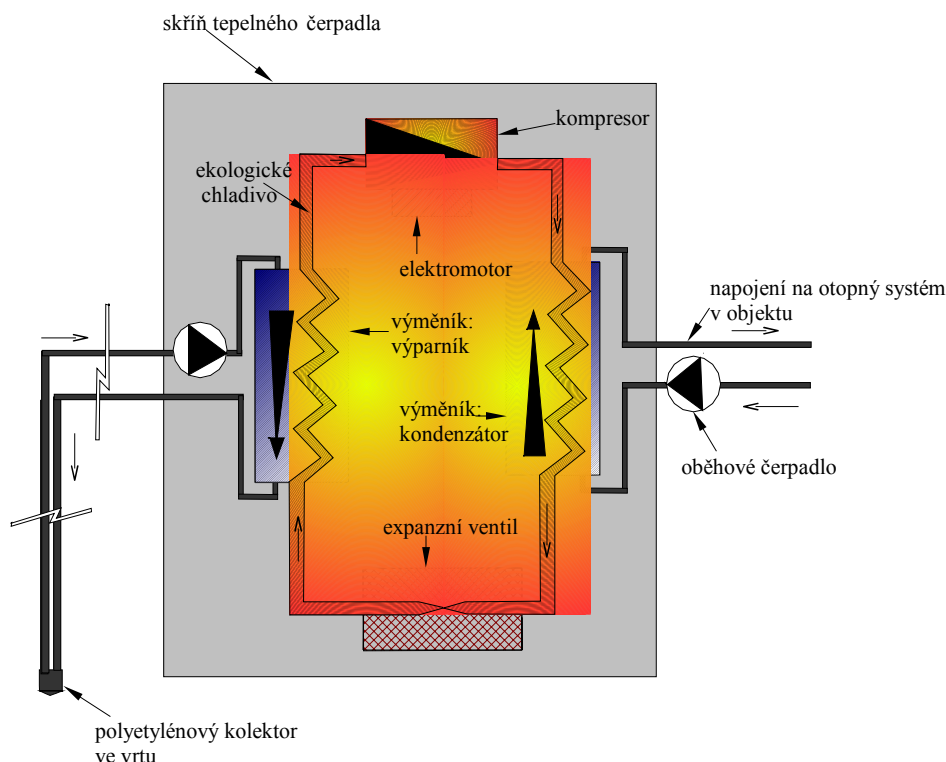
Tepelné čerpadlo je komfortní automat, který neprodukuje žádné spaliny – pouze převádí nízkoteplotní tepelnou energii hornin na tepelnou energii využitelnou pro praktické účely.

Instalace tepelných čerpadel přináší tyto výhody:

- k výrobě tepla využívají obnovitelných zdrojů energie (tepelná energie vzduchu, vody, hornin)
- z 1 kW placené el. energie nutné pro pohon kompresoru je tepelné čerpadlo schopno vyprodukovat cca 3 kW tepla, a tedy 2 kW dodá zadarmo přírodní obnovitelný zdroj energie,
- tepelná čerpadla neprodukují žádné spaliny,
- bezobslužný provoz,
- nízké provozní náklady,
- tepelné čerpadlo využívající vrty pro získání tepelné energie z hornin přináší další obrovskou přednost: v letním období lze reverzovat chod tepelného čerpadla a využít jej pro klimatizaci objektu. Přebytkové teplo z objektu je ukládáno do hornin a z hornin je do objektu přiváděn „chlad“. Využití této přednosti tepelných čerpadel ušetří nemalé finanční prostředky za klasickou klimatizaci.

4.4 Princip funkce tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo (TČ) je elektrospotřebič (380V, 50 Hz) – viz **Obr. 1** - pro přečerpávání přírodní obnovitelné energie zpravidla z vnějšího prostředí (vzduch, podzemní a povrchová voda, zeminy, horniny) do otopného systému stavebního objektu. V tepelném čerpadle dochází k převodu nízkopotenciální tepelné energie na energeticky vyšší, prakticky využitelnou úroveň bez jakéhokoliv spalování. Princip činnosti je stejný jako u domácí chladničky – tzn., že je založen na skupenských přeměnách chladiva ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla.

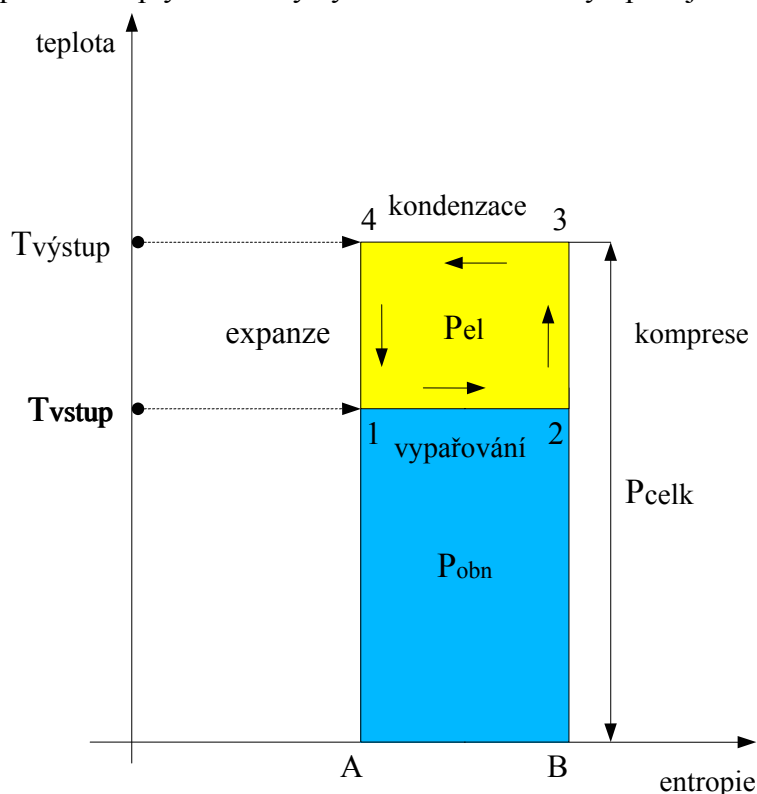


Obr. 1. Funkční schéma tepelného čerpadla

Na obrázku je znázorněna aplikace tepelného čerpadla systému země – voda pomocí hloubkového vrtu. Z hornin je tepelná energie přiváděna k tepelnému čerpadlu pomocí vrtu. Do vrtu jsou zapuštěny polyetylénové trubky tvaru U – tzv. kolektor (představuje vlastně prodloužený primární výměník – výparník) a vrt je po celé délce vyplněn injektážní směsí. Kolektor je hermeticky uzavřený: teplotnosné médium - ekologická nemrznoucí směs (voda s technickým lihem) je automaticky cirkulována v okruhu kolektoru a vůbec nedochází k jeho styku s horninovým prostředím.

Tato ekologická nemrznoucí směs po dobu chodu tepelného čerpadla odnímá horninám nízkopotenciální tepelnou energii o teplotě 2 - 4°C a předává ji přes výměník (výparník) ekologickému chladivu, které cirkuluje ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla. Ve výparníku dojde ohřátím chladiva k jeho vypařování. Páry jsou nasávány elektrickým kompresorem TČ, který je stlačením výrazně zahřívá. Právě kompresor TČ umožňuje transformaci nízkopotenciální tepelné energie na energii využitelnou pro potřeby bydlení. V kondenzátoru dojde k předání tepelné energie do otopného systému objektu a tím plynné chladivo zkapalní. Chladivo se pak průchodem přes expanzní ventil prudce rozepíná a silně

ochlazuje a kompresorem je nasáváno přes výparník. Zde chladivo přebírá tepelnou energii hornin, mění skupenství na plynné a celý cyklus se automaticky opakuje.



Obr. 2. Idealizovaný Carnotův cyklus pro tepelné čerpadlo (P_{obn} = obnovitelná energie přírodního prostředí, P_{el} = energie dodaná elmotorem kompresoru, P_{celk} = topný výkon TČ, T_{vstup} = teplota z přírodního zdroje, T_{vystup} = teplota dodávaná TČ do otopného systému)

Samotný chod tepelného čerpadla je řízen elektronicky na základě teplotních a tlakových čidel ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla. Z hlediska uvádění do chodu a zastavení TČ pracuje dle předem nastavené křivky ekvitermní regulace, která pomocí čidel vyhodnocuje aktuální teplotu venkovního vzduchu a vody v otopném systému stavebního objektu. Podrobně lze problematiku chodu tepelného čerpadla studovat v literatuře z oboru chladicí techniky (Žeravík, A., 2003, Dvořák, Z., 1986) a technických podkladů od některých výrobců tepelných čerpadel.

Všechny konstrukční komponenty tepelného čerpadla jsou vyměnitelné – proto názory, že životnost tepelného čerpadla končí po cca 20 – 25 letech (což je zhruba doba životnosti kompresoru) jsou zkreslující. Velký vliv na životnost tohoto systému vytápění má dlouhodobá stálost přírodního zdroje tepla a např. kvalita provedení vrtů, pokud horninový masiv je zdrojem tepla. Životnost polyetylénových trubek kolektoru zapuštěného do vrtu nebo do výkopu v zemině je výrobcí plastů uváděna cca 200 let.

Tepelné čerpadlo je umístěno v kotelně objektu, jeho rozměry jsou zhruba stejné jako u větší domácí chladničky. Z toho vyplývají velmi nízké nároky na umístění a prostor. Jedná se o bezobslužné zařízení s elektronickým řízením, které neprodukuje žádné odpadní zplodiny, protože pouze převádí nízkopotenciální tepelnou energii na energeticky vyšší, prakticky použitelnou hladinu.

4.5 Aplikace tepelných čerpadel

Zdrojem nízkopotenciální tepelné energie pro tepelné energie lze rozdělit na dvě základní kategorie:

- 1) přírodní obnovitelné zdroje (voda, vzduch, zeminy, horniny)
- 2) průmyslové zdroje (odpadní vody a jiné kapaliny při různých technologiích, teplý odpadní vzduch např. z důlních jam apod.)

V současné době převládají aplikace využívající přírodních obnovitelných zdrojů. V průmyslu často vznikají velká množství odpadního tepla, které lze přímo využít, a proto tepelných čerpadel není potřeba. Jedná se spíše o specifické případy a není účelem této studie o nich dále pojednávat.

Systémy pracující s přírodními obnovitelnými zdroji jsou označovány jako tepelné čerpadlo voda/voda, vzduch/voda (vzduch) a země/voda.

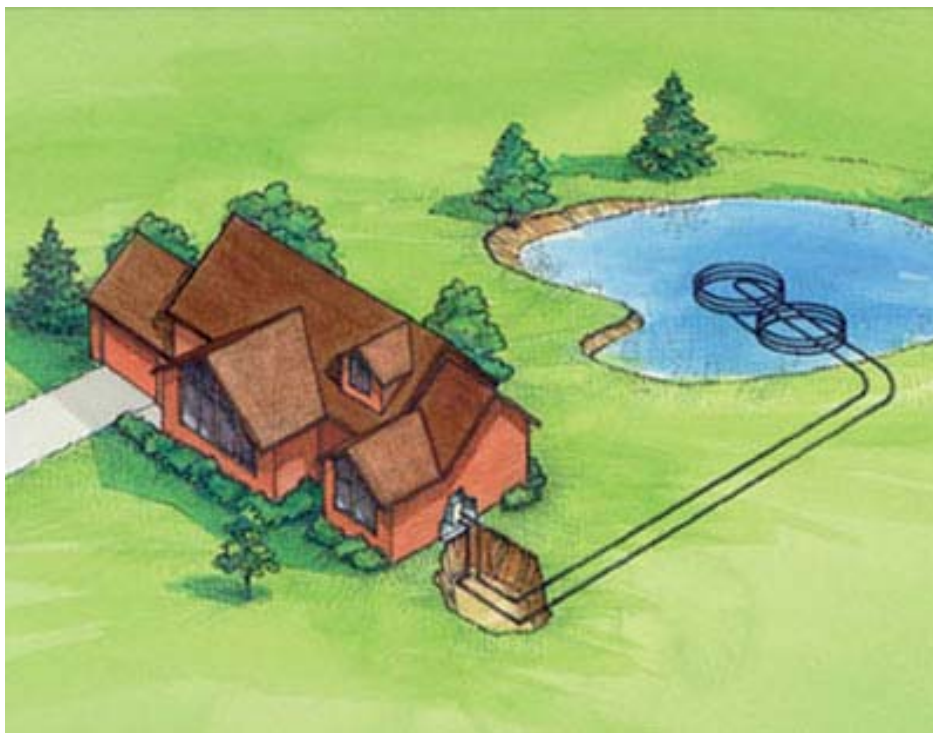
Systém voda/voda

Tento systém využívá nízkopotenciální tepelné energie v přírodě se vyskytující vody povrchové a podzemní jakožto zdroje a teplovodní otopný systém ve stavebním objektu pro odběr tepelné energie.

Jako zdroj povrchové vody lze využít vody z vodních toků, vody z různých přírodních i umělých vodních nádrží, průsaků přes hráze přehrad apod.



Obr. 3. Příklad čerpacího vrtu na vodu pro tepelné čerpadlo, utrácení vody do vodní nádrže



Obr. 4. Příklad primárního výměníku pro tepelné čerpadlo ve tvaru smyčky uložené do rybníka

Do těchto vodních zdrojů je od tepelného čerpadla vyvedena smyčka z polyetylénových trubek (tzv. primární výměník), ve které je cirkulována ekologické nemrznoucí směs na bázi vody s technickým lihem. Pomocí této nemrznoucí směsi je vodě odebíráno teplo, přiváděno do tepelného čerpadla, které zvýší jeho energetickou úroveň pro praktické využití (vytápění, ohřev TUV). Nevýhody této aplikace TČ jsou následující:

- tento zdroj vody není na většině lokalit dostupný,
- složitá legislativa pro povolení o zapuštění primárního výměníku do vodních nádrží a toků,
- nebezpečí poškození primárního výměníku (povodně, vandalismus apod.),
- velká délka primárního výměníku,
- většinou nestabilní topný faktor TČ, který je závislý na počasí a tedy na kolísavé teplotě zdroje.

Z důvodu těchto nevýhod není systém využívající povrchových vod příliš rozšířený, jedná se spíše o ryze specifické případy.

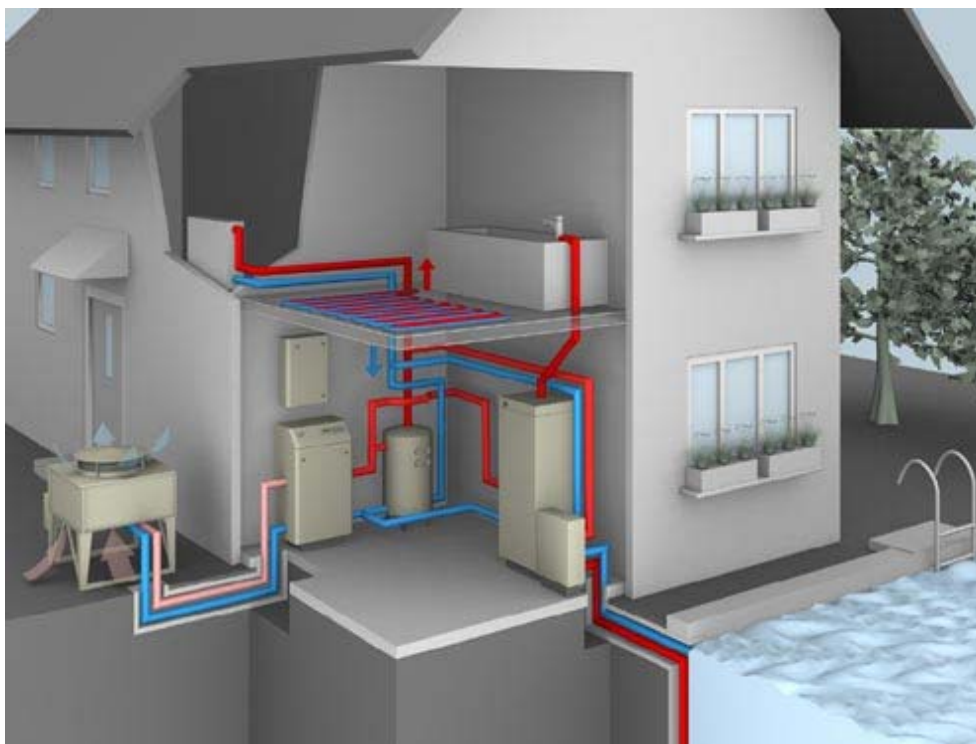
Zdrojem podzemní vody bývají zpravidla kopané nebo vrtané studny, specifickým případem jsou pak např. jeskynní jezera, důlní díla a hlubinné vrty. Obvykle je u těchto zdrojů jejich voda přímo čerpána pomocí čerpadla zapuštěného do vrtu nebo studny do výměníku TČ nebo do předřazeného výměníku v případech silně mineralizovaných vod, aby nebylo nutné složitě čistit výměník TČ. Při utrácení vody, která projde TČ je nutné postupovat dle rozhodnutí místního vodohospodářského orgánu – zpravidla vypouštění do vodního toku, utrácení vrt nebo studna. Výhodou této aplikace jsou vysoké topné faktory (4 a více) v případech, že zdroj vody má minimálně 10°C i v zimním období. Nevýhody jsou následující:

- požadavek na silný a stabilní přítok podzemní vody, což na mnohých lokalitách je problém,
- požadavek na dlouhodobou (cca 30 let) stálost přítoku podzemní vody: vlivem lidských aktivit a přírodních vlivů může dojít k poklesu přítoku podzemní vody v čase
- silná mineralizace podzemních vod vyžadující nákladnou filtraci,
- utrácení vrtu nebo studna není schopna pojmout vyčerpanou vodu zpět,
- pro spolehlivé dlouhodobé fungování vrtu v podmínkách tzv. pískujících vodních obzorů nákladné vstrojení vrtu,
- u mělkých studní nebo v blízkosti vodních toků může docházet ke kolísání teploty podzemní vody v závislosti na počasí,
- pro spolehlivé ověření vydatnosti zdroje podzemních vod je nutné většinou provést dlouhodobou čerpací zkoušku, která je pro některé investory dosti nákladná,
- nalezení zdroje podzemní vody se silným přítokem je většinou nákladnou záležitostí, pokud v nejbližším okolí již není takovýto zdroj znám,
- u hlubinných důlních děl a vrtů topný faktor může být výrazně snížen v důsledku potřeby velkého el. příkonu pro ponorné čerpadlo.

Z těchto důvodů je aplikace voda/voda rozšířena jen v oblastech s výbornými hydrogeologickými podmínkami, které jsou dopředu známy a není nutné investovat do hydrogeologického průzkumu, který může být negativní z hlediska využití vody pro TČ.

Systém vzduch/voda (vzduch)

Zdrojem tepla je zpravidla okolní atmosféra, jejíž teplota silně závisí na klimatu a ročním období. Tento zdroj tepla je nejsnáze dostupný, vzduch je nasáván do výměníku TČ ventilátorem, který je umístěn buď ve venkovním prostředí nebo v kotelně stavebního objektu.



Obr. 5. Příklad tepelného čerpadla systému vzduch/voda s venkovním ventilátorem

Otopný systém v objektu může být u této aplikace také vzduchový, což je využíváno především v USA. Výhodou jsou relativně nízké celkové investiční náklady, protože není nutné pořizovat žádný primární výměník ve formě kolektoru. Nevýhody této aplikace jsou následující:

- topný faktor je nestabilní – v zimním období výrazně klesá, je nutné nastartovat přídavné el. topení, které je součástí tohoto typu TČ,
- pravděpodobně snížená životnost kompresoru TČ v důsledku práce s extrémně nízkými teplotami,
- dlouhotrvající hluk z ventilátoru, přestože u seriózních výrobců splňuje hygienické normy, může obtěžovat okolí nebo investora, protože TČ může pracovat až 22 hodin denně,
- venkovní ventilátor v plechové skříni může snižovat estetickou hodnotu pozemku nebo stavebního objektu, a to zvláště u velkých aplikací s více tepelnými čerpadly.

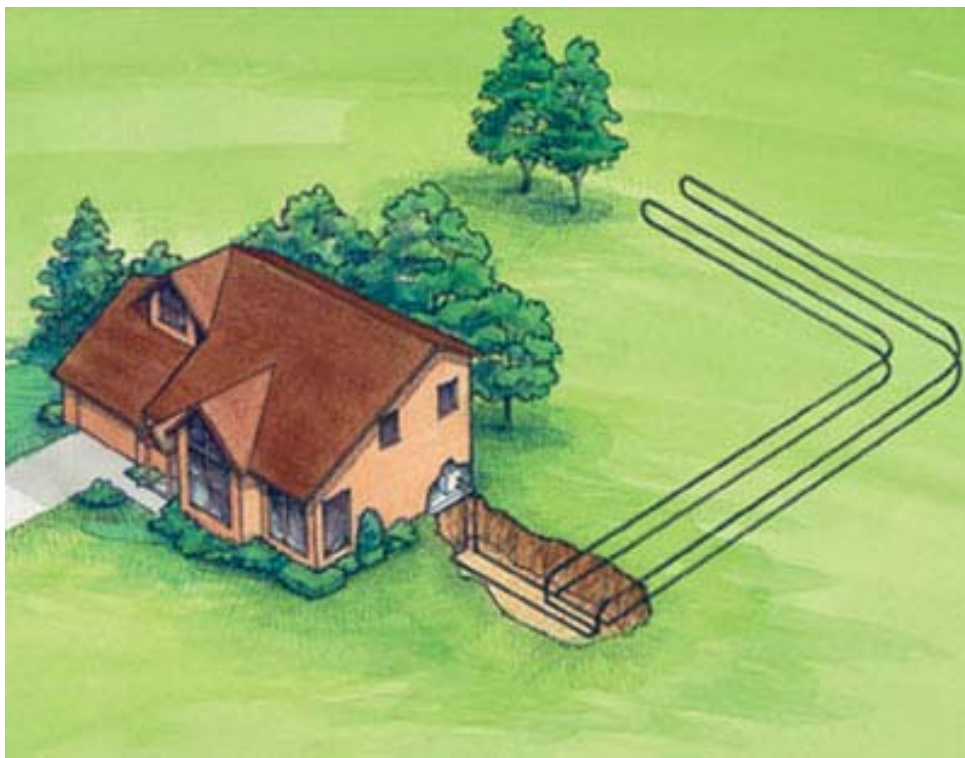
Aplikace vzduch/voda (vzduch) je velmi vhodná jen v odpovídajících klimatických poměrech (např. jižní Evropa), kdy i v zimním období se teplota vzduchu pohybuje mírně nad 0°C . Proto někteří světoví výrobci TČ tuto aplikaci ani sériově nevyrábějí (např. švédská firma IVT Energy).

Systém země/voda

U tohoto systému se využívají dva zdroje nízkopotenciální tepelné energie:

- zeminy: jedná se o horniny do hloubky cca 2m
- horniny: jedná se o hlubkové vrty do hornin

Při využití zemin jako zdroje je primární výměník ve tvaru horizontální smyčky uložený do výkopu v zeminách.



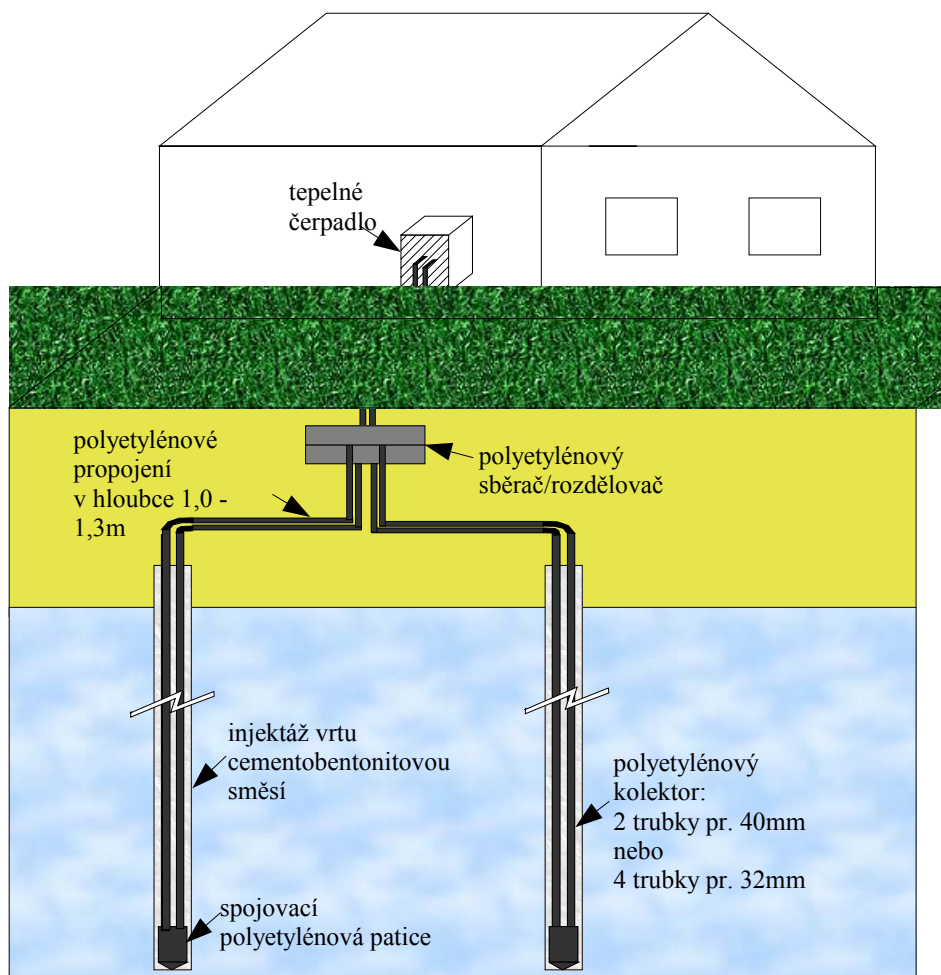
Obr. 6. Příklad primárního výměníku pro tepelné čerpadlo ve tvaru smyčky uložené do výkopu v zeminách

Výhodou této aplikace jsou relativně nízké investiční náklady. Nevýhody:

- ovlivnění povrchové vegetace vychlazením zemin a topný faktor, který je ovlivněn střídáním ročních období - proto je nutné projektovat dostatečně dlouhý primární výměník (řádově stovky metrů), což klade vysoké nároky na rozlohu pozemku,
- pro větší topné výkony TČ je limitující právě rozloha pozemku,
- pozemek je zpravidla znehodnocený tím, že pod jeho velkou částí jsou uloženy trubky primárního výměníku – nelze na něm dále stavět, vysazovat stromy
- v kamenitých zeminách nebo silně zvodnělých štěrcích jsou výkopové práce velmi nákladné, ve skalním podloží se tato aplikace neprovádí.

Je zřejmé, že hlavním omezujícím faktorem této aplikace je rozloha pozemku a jeho znehodnocení z hlediska možnosti osázení vegetací a z hlediska budoucích stavebních záměrů.

Využití hornin jako zdrojů tepla - viz **Obr.7.** - je velmi rozšířené po celém světě, zvláště pak v USA, Švédsku, Švýcarsku a Německu. Vrtý jsou prováděny do hloubek maximálně 150m, v geologických poměrech s výbornou stabilitou stěny až 300m.



Obr. 7. Schéma napojení hloubkových vrtů pro tepelné čerpadlo v objektu

Důvodem jsou následující výhody:

- téměř stabilní topný faktor TČ,
- výskyt podzemní vody není podmínkou fungování této aplikace,
- primární výměník z polyetylénových trubek je zapouštěn do hloubkových vrtů, jejichž nároky na velikost pozemku jsou velmi nízké,
- velmi univerzální použití z hlediska klimatu, protože střídání ročních období téměř neovlivňuje topný faktor TČ (nelze použít pouze v oblastech s permafrostem až stovky metrů hluboko – např. Sibiř, Kanada).

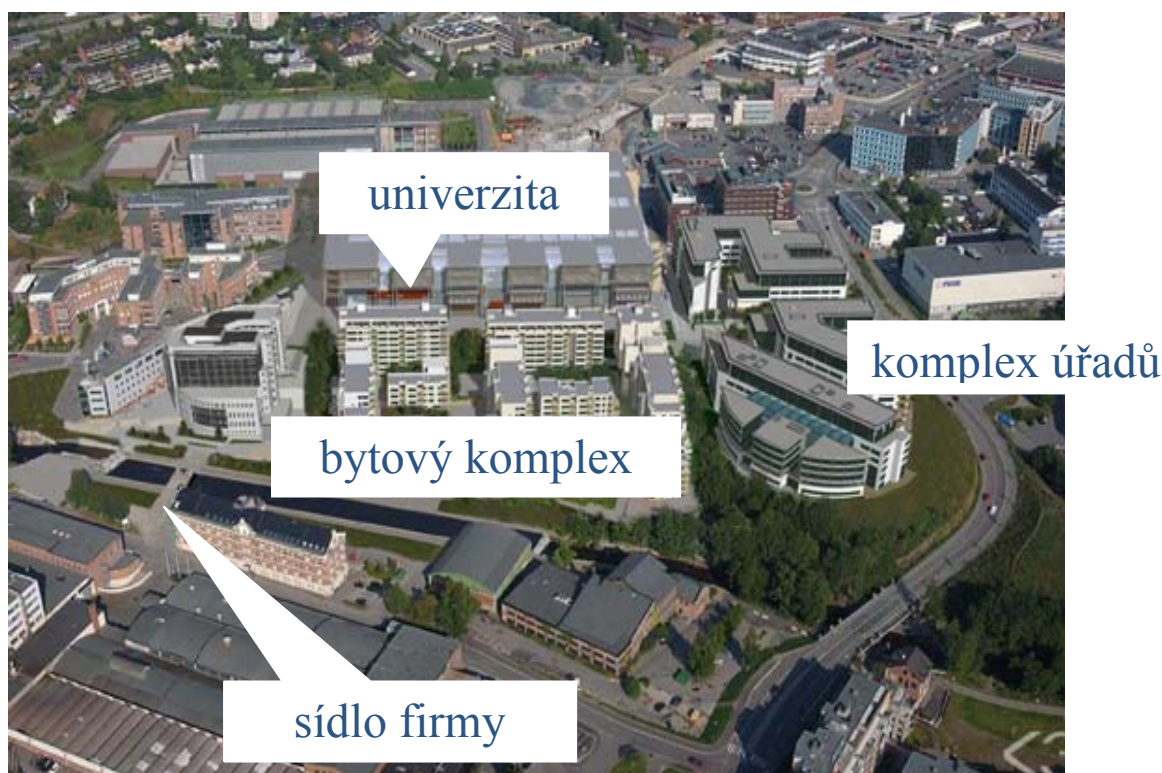
Nevýhody:

- relativně nejvyšší investiční náklady z důvodu realizace vrtů,
- některé pozemky jsou nedostupné z hlediska dojezdu vrtné techniky,
- vrtů pro TČ nelze realizovat tam, kde pozemky jsou legislativně chráněny (např. lázně, vodní zdroje pro hromadné zásobování obyvatel vodou, podzemní přiváděče vody, důlní díla).

TČ se systémem země/voda s použitím hloubkových vrtů jsou zvláště výhodná pro větší stavební objekty (školy, nemocnice, domovy důchodců apod.). U těchto typů objektů všechny výše uvedené systémy většinou vykazují četná omezení, a to z hlediska:

- přírodních podmínek (např. nízká teplota vzduchu v zimním období, požadavek na vysoký a stálý přítok podzemní vody nelze na většině pozemků splnit),
- technických požadavků (stálý topný faktor, instalace TČ nesmí narušovat vzhled budovy nebo pozemku),
- velikosti pozemku, která je k dispozici.

V zahraničí je tento systém využit pro vytápění a klimatizaci rozsáhlých komplexů budov (např. hotely, univerzity, státní úřady, finanční ústavy, vojenských objekty). Příkladem toho, jak rozsáhlé objekty jsou v zahraničí vytápěny a klimatizovány tepelnými čerpadly se systémem hloubkových vrtů ukazuje následující obrázek z Osla (Norsko).



Obr. 8. Oslo (Norsko) – objekty vytápěné a klimatizované tepelnými čerpadly s polem

V ČR lze navštívit sportovní halu v Opavě, která je vytápěna od podzimu 2003 pomocí TČ s 83 vrty do hloubky 100m. Jedná se o největší budovu vytápěnou tepelnými čerpadly v ČR.



Obr. 9. Městská víceúčelová sportovní hala v Opavě vytápěná pomocí tepelných čerpadel s vrty

V další odstavcích bude pojednáno pouze o aplikaci TČ s hloubkovými vrty.

4.6 Topný výkon tepelného čerpadla P_{top} (Žeravík, A., 2003)

Topný výkon tepelného čerpadla je zpravidla dimenzován na úrovni 50 – 75% celkových tepelných ztrát stavebního objektu včetně spotřeby teplé užitkové vody. Zbývající tepelné ztráty jsou zpravidla pokryty zálohovým zdrojem tepla (většinou elektrokotel nebo plynový kotel), který je automaticky zapínán pouze v případech silných mrazů. Protože toto extrémně chladné období trvá na většině území ČR cca 15 – 20 dnů ročně, je z hlediska nákladů zpravidla výhodnější použít zálohový zdroj pro dotop, než dimenzovat tepelné čerpadlo a jeho zdroj tepla (vrty) na celkové tepelné ztráty objektu. Z hlediska běžné uživatelské praxe jsou vyhovující následující zjednodušené vztahy, kterými se nahrazují vztahy používané v literatuře z oboru chladicí techniky:

$$P_{top} = P_{chlad} + P_{el} \quad 4.1$$

P_{top} ... topný výkon tepelného čerpadla

P_{chlad} ... chladicí výkon kompresoru = chladicí výkon na výparníku (přibližně)

P_{el} ... elektrický výkon kompresoru

$$P_{chlad} = V \times c \times \rho \times dT \times 1,163 \quad 4.2$$

V ... litráž oběhového čerpadla primárního (zdrojového) okruhu

c ... měrná tepelná kapacita nemrznoucí směsi v kolektoru

ρ ... hustota nemrznoucí směsi v kolektoru

dT ... teplotní rozdíl na vstupu a výstupu z TČ na primárním (zdrojovém) okruhu

$$P_{el} = U \times I \times \cos \varphi$$

4.3.

U ... střídavé napětí na svorkách kompresoru (zpravidla 3-fázové – 400 V)

I ... intenzita střídavého proudu na kompresoru (A)

$\cos \varphi$... účinník = 0,8

4.7 Topný faktor tepelného čerpadla COP (Coefficient Of Performance)

Z hlediska uživatelské praxe lze použít zjednodušený vztah:

$$COP = P_{top} / P_{el}$$

4.4

COP pro aplikace TČ s vrtvy by se měl pohybovat v rozmezí 2,8 – 3,5. To znamená, že z 1 kW placené el. energie nutné pro pohon kompresoru je TČ schopno vyprodukovat cca 3 kW tepla, a tedy 2 kW dodá zadarmo horninové prostředí. Právě dostatečně vysoký COP znamená, že systém země – voda byl správně dimenzován a projektovaná návratnost investice do tepelného čerpadla s vrtvy by zpravidla měla být dodržena.

Tepelná čerpadla jsou konstruována a seřizována tak, že maximální P_{top} je dosažen jen při určité kombinaci teploty nemrznoucí směsi na vstupu z vrtů do tepelného čerpadla a požadované teploty v otopném systému. Seriózní výrobci tyto podmínky uvádějí v prospekčních materiálech včetně el. energie pro pohon kompresoru. Z těchto hodnot lze snadno vypočítat COP . Z toho vyplývá, že COP není žádnou konstantou a během chodu TČ kolísá. Pokud teplota nemrznoucí směsi na vstupu z vrtů do tepelného čerpadla je nižší než „optimální“, pak klesá P_{top} a s ním klesá i COP .

Tepelné čerpadlo se systémem země/voda je konstruováno tak, že při jeho chodu jsou chladičem ve výparníku odebírány z nemrznoucí směsi pouze maximálně 4°C, tzn. že $dT = 4^{\circ}\text{C}$. Tento teplotní rozdíl je proto neustále odbírán nemrznoucí směsí v kolektoru po celé délce vrtu. Tepelné čerpadlo každý vrt nepřetržitě vychlazuje a závisí na tepelných vlastnostech hornin, a tedy na dostatečné hloubce každého vrtu, zda je přísun tepla z okolních hornin dostatečně rychlý, aby nedošlo k úplnému „vymražení“ vrtu, resp. okolních hornin. V praxi se považuje za kritickou mez teplota na vstupu z vrtů do tepelného čerpadla $T_{in} = -5^{\circ}\text{C}$, tzn., že teplota na výstupu z tepelného čerpadla T_{out} do vrtu bude až -9°C . Tepelné čerpadlo je sice schopné pracovat i při nižších teplotách, avšak topný faktor klesá na hodnotu cca 2, protože klesl topný výkon tepelného čerpadla. To zpravidla signalizuje, že vrtvy byly hloubkově poddimenzovány pro danou lokalitu, nadřazeným řídicím systémem je zapnut záložní tepelný zdroj, aby byly kryty tepelné ztráty objektu a zachována tepelná pohoda. To však snižuje rentabilitu provozu TČ. Je proto nezbytný zodpovědný a vysoce profesionální přístup k dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla a jejich patřičné vystrojení. Jen tak lze dosáhnout stavu, aby tepelné čerpadlo pracovalo v úzkém rozmezí T_{in} kolem optimální hodnoty udané výrobcem TČ, která zaručuje maximální COP .

Většina v současnosti konstruovaných tepelných čerpadel pro systém země/voda produkuje maximální P_{top} a tím i maximální COP pro $T_{in} = 0^{\circ}\text{C}$ a výstupní teplotu z tepelného čerpadla do otopného systému $T_{výst} = 35^{\circ}\text{C}$ (podlahové vytápění s extrémně

vysokou hustotou trubek). V praxi se však běžněji aplikuje $T_{\text{výst}} = 45^{\circ}\text{C}$ (podlahové vytápění s normální hustotou trubek) a $T_{\text{výst}} = 50^{\circ}\text{C}$ (vytápění s velkoplošnými radiátory), u nichž je COP nepatrně nižší (u kvalitních TČ). Platí, že COP je tím vyšší, čím je nižší rozdíl mezi teplotou na vstupu z vrtů do tepelného čerpadla a požadovanou teplotou na výstupu z tepelného čerpadla do otopného systému. Z toho vyplývá, že při instalaci podlahového topení do objektu lze docílit vyšší topný faktor, protože výstupní teplota je nižší než pro velkoplošné radiátory.

V praxi se COP obvykle stanoví jako průměrná hodnota za celou topnou sezónu, a to z podílu P_{top} a P_{el} , přičemž P_{top} je měřen měřičem tepla na výstupu do otopného systému a P_{el} se změří elektroměrem na svorkách kompresoru.

5. HORNINY JAKO ZDROJ TEPLA PRO TEPELNÉ ČERPADLO

V horninách litosféry je kumulováno teplo z těchto zdrojů:

- a. **vnitřní zdroje:** teplo uvolněné vlivem tektonických a vulkanických aktivit, radioaktivním rozpadem prvků, při exotermních geochemických reakcích, při stlačení spodních vrstev nadloží (gravitační teplo), při gravitační diferenciaci, při pohlcování energie seismických vln, teplo pasivně vyzařované Zemí
- b. **vnější zdroje:** energie slunečního záření

Podle (Jakeš, P., 1984) se 47% slunečního záření přemění po dopadu na zemský povrch přímo na teplo – to představuje výkon 81.310×10^{12} W. Pokud zjednodušeně vztáhneme tuto hodnotu na celý povrch Země (rotační elipsoid o ploše $510.083.058 \text{ km}^2$), pak na 1 m^2 zemského povrchu připadne 159 W/m^2 . Celkový vnitřní výkon Země činí 33×10^{12} W, což je pouze 0,04 % slunečního výkonu, resp. po vztážení na plochu Země to představuje cca 65 mW/m^2 (jedná se o tepelný tok Země). Z toho vyplývá, že výkon slunečního záření vztážený na 1 m^2 zemského povrchu je více než 2.400-krát vyšší než tepelný tok Země. Horniny svrchní části zemské kůry tudíž představují tepelný akumulátor slunečního záření.

Zemský tepelný tok φ je množství tepla, které projde jednotkovou plochou na zemském povrchu za jednotku času:

$$\varphi = \lambda \cdot \Delta T$$

5.1

λ ... tepelná vodivost hornin (W/mK)

ΔT ... přírůstek teploty s hloubkou (K/m)

Měřením zemského tepelného toku byly získány tyto základní poznatky (Svoboda 1983):

- 1) průměrný φ činí $60 \pm 10 \text{ mW/m}^2$
- 2) v oblastech se silnou konsolidací zemské kůry (kontinentální štíty) $\varphi = 35 - 40 \text{ mW/m}^2$
- 3) v oblastech třetihorního vrásnění $\varphi = 70 - 80 \text{ mW/m}^2$

Stanovení zemského tepelného toku φ je relativně pracné a zdlouhavé: provádí se měřením teploty v hlubinných vrtech pomocí vysoce přesných elektrických odporových termometrů po ustálení teplotního pole v okolí vrtu (tj. týdny až měsíce po jeho dokončení), narušeného

cirkulací výplachu. Pro území České republiky byla zpracována v Geofyzikálním ústavu ČAV mapa izolinií zemského tepelného toku.

Z velikosti průměrného $\varphi = 60 \text{ mW/m}^2$ lze snadno odvodit, že např. plochou o rozloze $1\,000 \text{ m}^2$ na povrchu Země projde tepelný tok o velikosti pouhých 60W. Přitom z vrtu o průměru 120mm a hloubce 100m lze získat topný výkon o hodnotě 4 000 – 7 500 W. Z této jednoduché úvahy vyplývá, že zemský tepelný tok nemůže být dominantním zdrojem nízkopotenciální tepelné energie hornin.

Z uvedeného je zřejmé, že **hlavním zdrojem obnovitelné nízkopotenciální energie v horninách je sluneční záření**. Podle (Oklahoma State University, 1988) podíl slunečního záření na akumulaci tepla v horninách činí 97 – 98%, zbytek připadá na vnitřní zdroje Země. Lze předpokládat, že v oblastech zvýšené sopečné a tektonické aktivity, resp. v horninách se zvýšeným obsahem radioaktivních prvků se procentuální podíl vnitřních zdrojů o jednotky procent zvýší.

Dalším důkazem silně převažujícího vlivu slunečního záření na tepelnou bilanci v horninách litosféry je existence trvale zmrzlých půd (permafrostu), které např. na Sibiři dosahují maximální mocnosti až 600m, průměrně pak 300 – 450m. Pokud by vnitřní zdroje zemského tepla byly vydatnější, pak by permafrost nebyl vyvinutý do takových hloubek.

Při vytápění pomocí tepelného čerpadla dochází v topné sezóně k vychlazování horninového masívu, které se však při dostatečných hloubkách vrtů stabilizuje (tzn. že teplota teplosnosného média na vstupu do tepelného čerpadla je kvazikonstantní – zpravidla kolem 0°C). Během přechodného období a zvláště v létě dochází k „dobíjení“ horninového masívu slunečním zářením, tepelné čerpadlo produkuje v letním období jen teplo pro ohřev teplé užitkové vody. Velice výhodná je aplikace tepelného čerpadla pro klimatizaci objektu: přebytečné teplo je z objektu odváděno do vrtů, a tím dochází k rychlejšímu a teplotně vyššímu „dobíjení“ horninového masívu. Tím je dosahováno vyššího topného faktoru *COP* a při aplikacích s velkým počtem vrtů je vyloučen případný dlouhodobý pokles teploty horninového masívu z důvodu vzájemného teplotního ovlivňování vrtů.

Vzhledem k tomu, že tepelné čerpadlo při napojení na kolektor ve vrtu vyvolá v okolí teplotní nerovnováhu, dochází neustále k přenosu tepla v horninách směrem k vrtu. **Tento přenos tepla se uskutečňuje především vedením (kondukcí)**: tzn., že teplo se předává pouze vlněním krystalické mřížky minerálů tvořících horniny. Populárně bývá také označováno jako „suché“ zemské teplo, aby bylo odlišeno od tepla přenášeného prouděním těles podzemních vod (konvekci).

V homogenním izotropním prostředí se šíření tepla vedením řídí Fourierovou rovnicí (Eskilson, P., 1987):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

5.2

a ... součinitel teplotní vodivosti (m^2/s)

T ... teplota (K)

t ... čas (s)

Součinitel teplotní vodivosti a hornin udává rychlost vyrovnání teploty v horninovém prostředí:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}$$

5.3

λ ... měrná tepelná vodivost hornin (W/mK)

c ... měrná tepelná kapacita hornin při konstantním tlaku (J/kgK)

ρ ... přirozená hustota hornin (kg/m³)

Měrná tepelná vodivost hornin λ je pro danou horninu v izotropním homogenním prostředí konstantou, která charakterizuje schopnost horniny vést teplo. Je rovna množství tepla, které projde jednotkovou plochou za jednotku času při jednotkovém teplotním rozdílu. Tento parametr je složitou funkcí především mineralogického složení, strukturně texturních vlastností horniny, její hustoty, pórovitosti a obsahu vody v hornině. Může vykazovat anizotropii, ve větších hloubkách je též funkcí teploty a tlaku v horninách, avšak tuto závislost můžeme zanedbat, protože vrtky pro tepelná čerpadla jsou většinou realizovány do hloubky pouze 150m. Měrná tepelná vodivost hornin nabývá nejvyšších hodnot pro křemen ($\lambda = 8,4$ W/mK), zatímco pro některé jíly a jílovce je nejnižší ($\lambda = 0,4 - 0,8$ W/mK). U většiny hornin zemské kůry se tento parametr pohybuje v rozmezí $\lambda = 2,1 - 4,2$ W/mK.

Měrná tepelná vodivost hornin byla donedávna většinou zjišťována laboratorně na reprezentativních vzorcích hornin z vrtného jádra. Nejrozšířenější je metoda tzv. dělené tyče (divided bar) prováděná např. na pracovišti Geofyzikálního ústavu ČAV (Mareš et al. 1979).

Právě měrná tepelná vodivost hornin má z horninových parametrů zcela zásadní význam pro dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla.

6. DIMENZOVÁNÍ VRTŮ PRO TEPELNÁ ČERPADLA

Dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla zahrnuje:

- stanovení počtu a hloubky každého vrtu
- stanovení vzdálenosti mezi dvěma a více vrtky
- stanovení způsobu rozmístění tří a více vrtů

Jednou ze stěžejních prací zabývajících se problematikou dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla je práce (Eskilson, P., 1987), ze které jsou uvedeny následující základní vztahy a závěry pro matematické modelování.

Teplota hornin v okolí vrtu $T(r,z,t)$ vyhovuje Fourierově rovnici pro vedení tepla v cylindrických souřadnicích:

$$\frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

6.1

r ... radiální vzdálenost od osy vrtu (m)

z ... vertikální souřadnice ve vrtu (m)
 t ... čas (s)
 a ... teplotní vodivost hornin (m^2/s)

Numerickou simulací bylo prokázáno, že lze bez újmy na praktickou přesnost pro stanovení hloubky vrtu v reálných geologických podmínkách použít následující zjednodušení. Přestože ve skutečnosti je horninové prostředí zastiženo vrtem zpravidla stratifikováno pokud se týče tepelné vodivosti hornin, lze při matematickém modelování použít pro vrt pouze jednu „průměrnou“ hodnotu tepelné vodivosti hornin a horninové prostředí je považováno za homogenní z hlediska tepelné vodivosti hornin.

Teplotní změny na povrchu terénu v důsledku střídání ročních období, tepelný odpor mezi vzduchem a terénem, sněhová pokrývka, mráz mají na funkci hloubkového vrtu pro tepelné čerpadlo zanedbatelný vliv. Důležitým parametrem je pouze průměrná roční teplota vzduchu T_0 pro danou lokalitu.

Zjednodušená počáteční podmínka pro teplotu hornin je:

$$T(r, z, 0) = T_g$$

6.2

T ... teplota hornin (K)

T_g ... průměrná teplota hornin v okolí vrtu neovlivněném odběrem tepla (K)

Bylo experimentálně ověřeno, že s dostatečnou přesností lze teplotu T_g vztáhnout k teplotě v polovině hloubky celého vrtu.

Zjednodušená hraniční podmínka pro povrch terénu je:

$$T(r, 0, t) = T_g$$

6.3

přičemž teplota na povrchu terénu pro danou lokalitu je ve skutečnosti o něco nižší.

Výpočtem bylo ověřeno, že chyby pro odběr tepla z hornin vzniklé zanedbáním geotermického gradientu a teplotních sezónních změn pro $z = 0$ pro výše uvedené podmínky jsou menší jak 1%.

Základní hraniční podmínky ve vrtu jsou následující:

$$T(r_b, z, t) = T_b(t)$$

6.4

r_b ... poloměr vrtu (m)

$T_b(t)$... teplota podél stěny vrtu v závislosti na čase (K)

a:

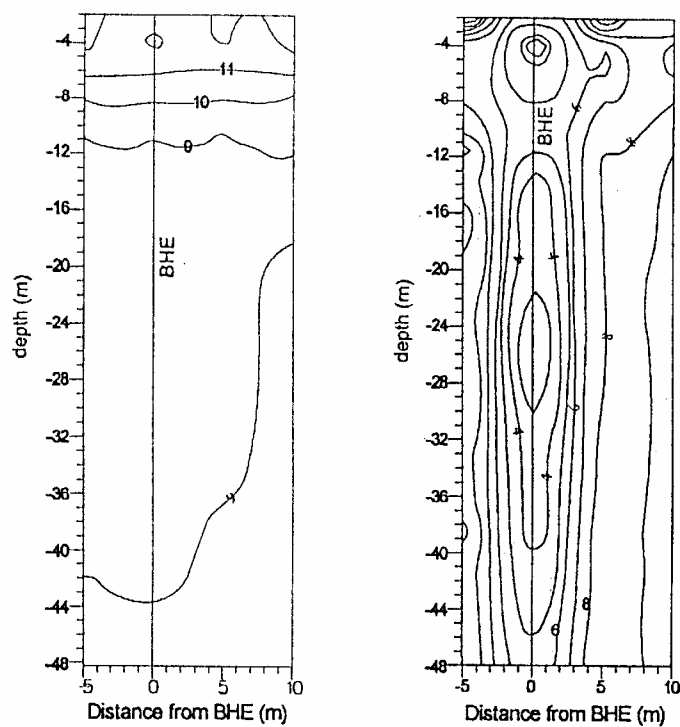
$$q(t) = \frac{1}{H} \int_0^H 2\pi r_b \cdot \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=r_b} dz$$

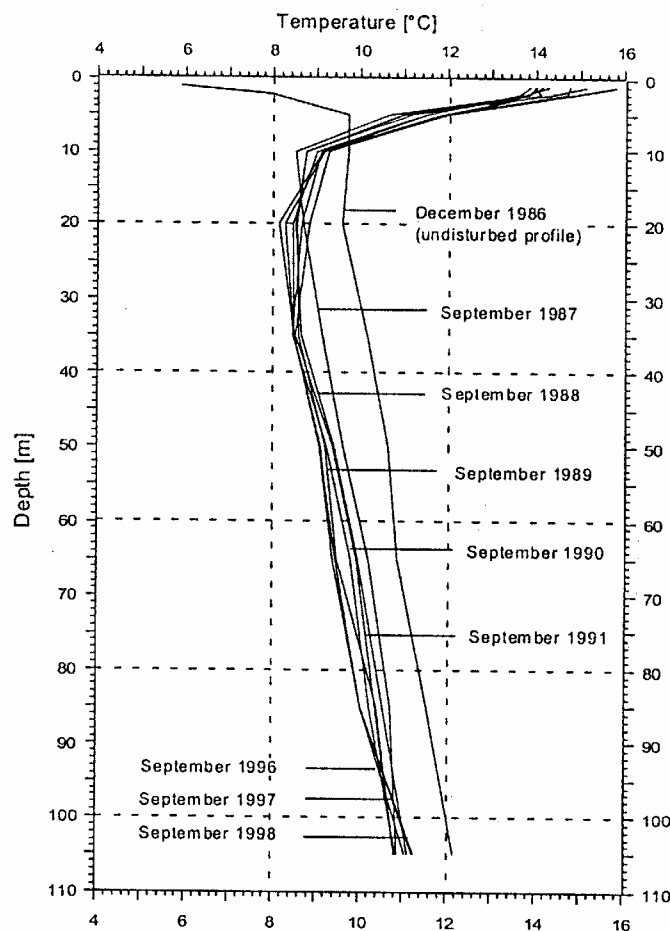
6.5

$q(t)$... průměrný odběr tepla z 1m vrtu (W/m) v závislosti na čase

λ ... tepelná vodivost hornin (W/mK)
 H ... hloubka vrtu (m)

Při odběru tepla z vrtu za výše uvedených podmínek mají izolinie teploty hornin v okolí vrtu tvar rotačních elipsoidů – viz **Obr. 10**. Měření teplot bylo prováděno jednak ve vrtu vystrojeném pro tepelné čerpadlo, jednak ve speciálních měřicích vrtech (Rybach, L., Sanner, B., 2000).





Obr. 10. Izolinie teploty naměřené ve vrtu teplotně neovlivněném (obr. vlevo nahoře) a během chodu tepelného čerpadla

Vliv přítoku podzemní vody je při dimenzování vrtů zanedbáván.

Teplotní odezva v horninách v okolí vrtu na určitý odběr tepla z vrtu pro daný časový interval je převedena na soubor bezrozměrných koeficientů teplotní odezvy, které se označují jako g-funkce. Celkový odběr tepla z vrtu je převeden na soubor časově omezených tepelných pulsů, které jsou skládány na principu superpozice. Teplota hornin na stěně vrtu v kterémkoli čase je pak stanovena přiřazením g-funkcí těmto odběrovým pulsům (Eskilson, P., 1987):

$$T_b = T_g + \sum_{i=1}^n \frac{q_i - q_{i-1}}{2\pi\lambda} g\left(\frac{t_n - t_{i-1}}{t_s}, \frac{r_b}{H}\right) \quad 6.6$$

kde:

$$t_s = \frac{H^2}{9a} \quad 6.7$$

t_s ... stacionární čas odběru tepla z vrtu (s)

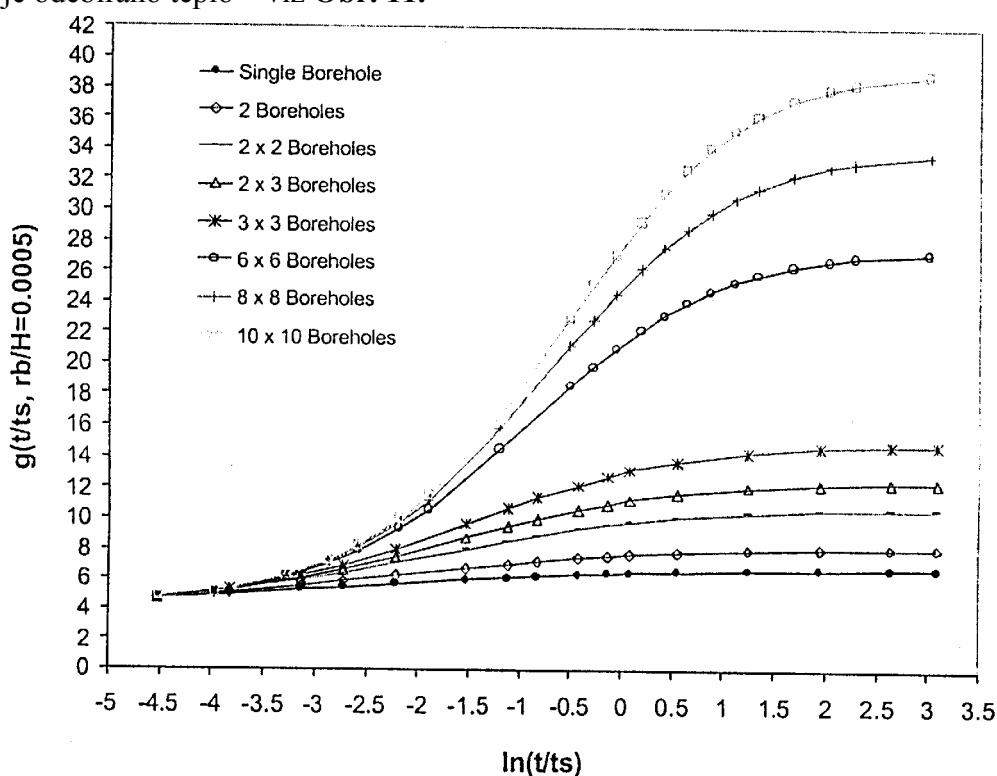
$g(\frac{t}{t_s}, \frac{r_b}{H})$... g-funkce popisující teplotní odezvu v horninách způsobenou odběrem tepla

z vrtu v určitém časovém intervalu

q_i ... odběr tepla z vrtu (W/m) po dobu i-tého teplotního pulsu

t_i ... časový konec i-tého teplotního pulsu (s)

Na velikost g-funkce má výrazný vliv počet a způsob rozmístění vrtů (Gehlin, S., 2002), ze kterých je odebíráno teplo – viz **Obr. 11**.



Obr. 11. Průběh g-funkcí v závislosti na počtu vrtů

Důležitým parametrem pro dimenzování vrtů je celkový teplotní odpor R_b vrtu vůči přestupu tepla z hornin do nemrznoucí směsi proudící v kolektoru. R_b je závislý především na materiálu výplně vrtu, poloze trubek kolektoru ve vrtu, materiálu trubek kolektoru a režimu proudění nemrznoucí směsi v kolektoru. Je žádoucí z hlediska efektivního přestupu tepla z hornin do kolektoru, aby R_b byl co nejnižší. Simulací bylo ověřeno, že tato podmínka bude splněna, pokud materiál výplně vrtu má co nejvyšší tepelnou vodivost, trubky kolektoru mají po celé délce vrtu stejnou rozteč a jsou co nejblíže stěně vrtu a režim proudění nemrznoucí směsi v kolektoru je turbulentní.

Pro tzv. celkový teplotní odpor vrtu R_b mezi stěnou vrtu a nemrznoucí směsí v kolektoru platí přibližný vztah (Eskilson, P., 1987):

$$R_b = \frac{T_b(t) - T_f(t)}{q(t)} \quad 6.8$$

kde:

$$T_f(t) = \frac{T_{in} - T_{out}}{2} \quad 6.9$$

$$\text{kde:} \quad T_{in} = T_f - \frac{qH}{2c_f \rho_f V_f} \quad T_{out} = T_f + \frac{qH}{2c_f \rho_f V_f}$$

6.10

$T_f(t)$... průměrná hodnota teploty nemrznoucí směsi na vstupu, resp. výstupu z vrtu (K)

T_f ... teplota nemrznoucí směsi v kolektoru (K)

T_{in}, T_{out} ... teplota nemrznoucí směsi na vstupu, resp. výstupu z vrtu (K)

c_f ... měrná tepelná kapacita nemrznoucí směsi v kolektoru (J/kgK)

ρ_f ... měrná hmotnost nemrznoucí směsi v kolektoru (kg/m³)

V_f ... průtočné množství nemrznoucí směsi v kolektoru (m³/s)

Výše uvedené základní vztahy pro odběr tepla z hornin byly použity ve výpočtovém software EED 2.0.

6.1 Aplikace software EED 2.0 pro dimenzování vrtů

Software Earth Energy Designer (EED) 2.0 byl vytvořen skupinou švédských a německých výzkumných a univerzitních pracovníků - specialistů v oboru fyzika stavebních objektů a matematická fyzika (Hellström, G., et al. 2000). EED 2.0 je určen pouze pro dimenzování vrtů pro systém země/voda v hloubkovém rozsahu do 200m. Tento software umožňuje formou jednoduchých dialogových oken s databázemi vstupních parametrů rychlý výpočet těchto konečných parametrů:

- průměrné teploty nemrznoucí směsi v kolektorech pro zvolenou hloubku vrtů
- hloubku vrtů pro zvolené rozmezí teploty nemrznoucí směsi v kolektorech

V praxi je častěji aplikován výpočet hloubky vrtů pro předem zvolené rozmezí teploty nemrznoucí směsi v kolektorech, neboť opačný postup vede často k poddimenzování hloubky vrtů a tudíž nežádoucímu nadměrnému vychlazení hornin ve vrtu. Pomocí EED 2.0 lze provést výpočty hloubky vrtů pro různé zvolené vstupní podmínky tak, aby byl dlouhodobě zajištěn zanedbatelný pokles teploty hornin v okolí vrtů, a tím i dlouhodobě konstantní topný výkon tepelného čerpadla.

EED 2.0 disponuje těmito databázemi (Hellström, G., et al. 2000):

- různé průměry vrtů
- tepelná vodivost různých typů hornin (minimální, maximální, doporučená)
- tepelná vodivost různých výplní vrtů
- 2.465 g-funkcí v závislosti na vzdálenostech mezi vrty a jejich hloubkami
- 308 různých uspořádání vrtů
- nemrznoucí směsi v kolektorech (jejich fyzikální vlastnosti)
- zemský tepelný tok pro různé lokality v Evropě
- průměrná teplota při povrchu terénu různé lokality v Evropě
- různé materiály kolektorů (jejich fyzikální vlastnosti), jejich různé systémy

Uživatel musí zadat do software tyto vstupní parametry:

- tepelnou vodivost λ hornin vrtem zastižených (jedna hodnota pro celý vrt)
- zemský tepelný tok ϕ pro danou lokalitu

- průměrnou roční teplotu na povrchu terénu (je přibližně rovna průměrné roční teplotě vzduchu pro danou lokalitu)
- typ injektážní směsi ve vrtu
- topný výkon tepelného čerpadla
- litráž oběhových čerpadel primárního okruhu tepelného čerpadla vztaženou na 1 vrt
- typ nemrznoucí směsi v kolektorech tepelného čerpadla
- měsíční energetickou potřebu daného stavebního objektu
- odhad doby chodu tepelného čerpadla s maximálním topným výkonem pro každý měsíc

Na základě provedení analýzy citlivosti při modelování lze konstatovat:

a) Tepelná vodivost hornin je fyzikální parametr hornin, který nelze ovlivnit, a přitom má výrazný vliv na hloubku vrtů.

Proto právě u dimenzování větší skupiny vrtů je velmi žádoucí zjistit tepelnou vodivost hornin zastižených vrtem a tu teprve dosadit do softwaru. V současné době existují dvě metody zjišťování tepelné vodivosti hornin:

- laboratorní metody: je nezbytné provést aspoň intervalové jádrování vrtu pro získání reprezentativních vzorků hornin
- metody měření ve vystrojeném vrtu: v Evropě se označují jako testy teplotní odezvy (**Thermal Response Test - TRT**), v USA (Geothermal Resource Technology, Inc., 2003) jako testy tepelné vodivosti hornin (**Formation Thermal Conductivity Testing**)

Je zřejmé, že i v případě jádrování celého vrtu bez ohledu na náklady jsou výsledky laboratorních metod pouze orientační, protože nemohou zohlednit řadu faktorů působících ve vrtu (např. vlhkost hornin, vliv tektoniky, vliv strukturně texturních vlastností celého profilu vrtu na tepelnou vodivost, vliv typu injektážní směsi, průměru vrtu a rozmístění trubek kolektoru ve vrtu). Proto jsou jednoznačně upřednostňovány metody měření ve vrtu.

b) Zemský tepelný tok nemá na dimenzování hloubky vrtů významný vliv: i když jeho hodnota vzroste o 100%, hloubka vrtů se zkrátí o pouze maximálně 8%, a to i v případě větší skupiny vrtů. Proto postačuje dosadit do softwaru přibližné hodnoty zemského tepelného toku získané např. z odborné literatury v oboru geofyziky.

c) Výrazný vliv na dimenzování hloubky vrtů má průměrná teplota na povrchu terénu: ke zkrácení nebo prodloužení vrtů dochází o desítky procent, a to zvláště v případě nízké teploty pro větší skupinu vrtů. Je proto nezbytně nutné zjistit co nejpřesněji tento parametr pro danou lokalitu. Dle autorů softwaru EED 2.0 můžeme průměrnou teplotu na povrchu terénu ztotožnit s průměrnou teplotou vzduchu na dané lokalitě, přičemž toto zjednodušení má zanedbatelný vliv na určení hloubky vrtů. Průměrnou teplotu vzduchu lze získat od hydrometeorologické stanice nejbližší ležící zájmové lokalitě (tyto údaje lze např. také nalézt v ČSN 06 0210 a např. také podrobněji ve firemním software fy. PZP Komplet, a.s. – předního českého výrobce vzduchových tepelných čerpadel).

Další parametry, které mají vliv na dimenzování hloubky vrtů, jsou ryze technického charakteru, a proto jsou snadno určitelné a ovlivnitelné:

- 1) **režim toku nemrznoucí směsi v kolektorech** – při turbulentní režimu toku lze zkrátit hloubky vrtů až o 14 - 21% u 2-trubkového kolektoru

- 2) pokud z technických či ekonomických důvodů není turbulentní tok nemrznoucí směsi v kolektorech vhodný, pak použitím 4-trubkového kolektoru lze zkrátit vrty o 10 – 15% v porovnání s 2-trubkovým kolektorem
- 3) **vliv vzdálenosti mezi vrty** narůstá na významu u větší skupiny vrtů, kde dochází k jejich vzájemnému teplotnímu ovlivnění: např. pro 10 vrtů je žádoucí rozteč vrtů 10m
- 4) **vliv způsobu uspořádání většího počtu vrtů**: při uspořádání např. 10 vrtů do jedné linie dosáhneme optima z hlediska minimálního vzájemného teplotního ovlivnění vrtů, což má za následek zkrácení hloubek vrtů cca 6 – 8% v porovnání s 2 řadami po 5 vrtech
- 5) pokud chceme zabránit vychlazování hornin v okolí vrtů a volíme proto vyšší **minimální teplotu nemrznoucí směsi v kolektoru**, pak toto opatření vede k výraznému zvětšení hloubky vrtů (v rozmezí 20 – 30% pro dosažení teploty $-2,5^{\circ}\text{C}$ místo -5°C)
- 6) **vliv typu injektážní směsi** – tento parametr má vliv na tzv. celkový teplotní odpor vrtu R_b . Při použití speciálních injektážních směsí např. s křemitým pískem lze snížit hodnotu R_b a tím i hloubku vrtu

Jedním z grafických výstupů EED 2.0 je průběh teploty nemrznoucí směsi v kolektoru v závislosti na dlouhodobém chodu tepelného čerpadla. Při dostatečné hloubce každého vrtu nastává výraznější pokles této teploty během prvních cca dvou let chodu tepelného čerpadla, další pokles teploty je velmi mírný, nakonec dojde k dlouhodobé stabilizaci teploty směsi v kolektorech. Teplota nemrznoucí směsi v kolektoru je důležitým parametrem – čím je vyšší, tím je vyšší topný faktor *COP* tepelného čerpadla.

Pro analýzu získaných dat z Thermal Response Testu se ve světě nejčastěji používá metoda „liniového zdroje“. Tato metoda je založena na předpokladu vyzařování tepla z nekonečně tenkého zdroje o konstantní velikosti do nekonečného okolí.

Hypoteticky se předpokládá, že kolem vrtu je teplotní pole neporušené a že do vrtu proudí konstantní množství tepelné energie během dostatečně dlouhé doby. Pak je za těchto předpokladů možné použít zjednodušené rovnice pro liniový zdroj, která má tento tvar (Spitler, J. D., et al. 2002):

$$\Delta T = A + \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \ln(t) \quad 6.11$$

ΔT změna teploty (K)

A konstanta

Q množství dodávaného tepla (W)

π 3,14159

λ tepelná vodivost (W/mK)

$\ln(t)$ přirozený logaritmus času testování

Teplota představuje průměrnou hodnotu z měřených hodnot teploty na vstupu a výstupu z kolektoru. Výše uvedená rovnice může být převedena na tvar pro určení tepelné vodivosti λ :

$$\lambda = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot H \cdot SP} \quad 6.12$$

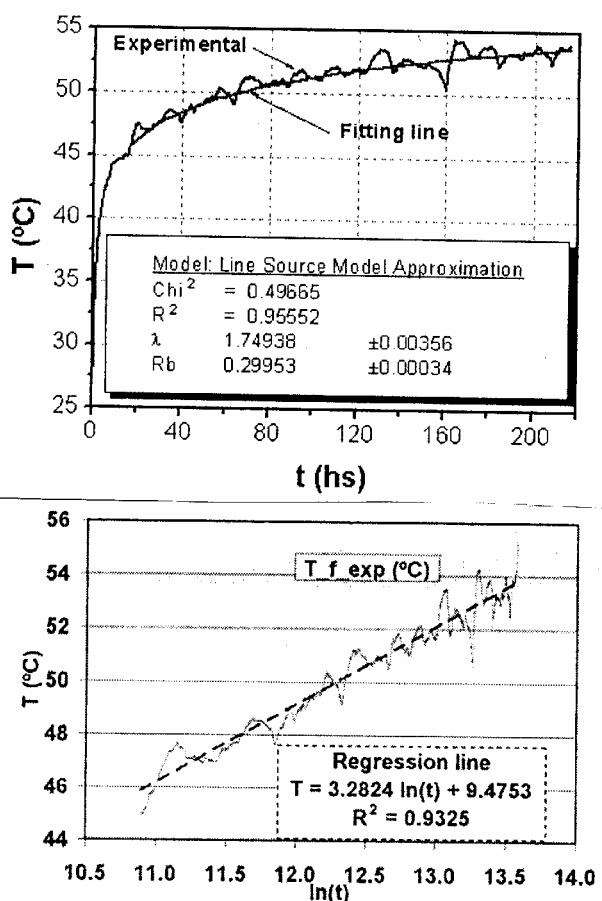
kde:

H ... hloubka vrtu (m)

SP ... směrnik přímky

Směrnik přímky SP se určí na semilogaritmickém grafu závislosti průměrné teploty v PE-kolektoru na čase v logaritmické stupnici. Pak se určí směrnik přímkové části $\frac{T_2 - T_1}{\ln t_2 - \ln t_1}$, kde stav 1 odpovídá času, kdy na křivce grafu začíná její přímková část a stav 2 odpovídá času, který se blíží konci konstantní dodávky tepla. Je přesnější vypočítat směrnik v tomto časovém rozmezí použitím lineární metody nejmenších čtverců pro hodnoty závislosti T na $\ln(t)$.

Na **Obr. 12.** je na horním grafu znázorněn testem naměřený průběh teploty nemrznoucí směsi v kolektoru v závislosti na čase, který je proložen aproximační křivkou. Na spodním grafu je uveden tentýž průběh vyjádřený na ose x v logaritmické časové stupnici a navíc byly v grafu zohledněny teploty až po 15 hodinách od začátku testu, kdy dochází k teplotní stabilizaci horninového masívu.



Obr. 12. Příklad grafického vyhodnocení Thermal Response Testu (Busso, A., et al., 2003)

Thermal Response Test může být prováděn pro několik hodnot topného výkonu elektrokotle, které jsou udržovány na konstantní hladině po určitou dobu. Na základě superpozice je vypočítáván přírůstek teploty $T_f(t) - T_g$ na stěně vrtu (Eskilsson, P., 1987):

$$T_f(t) - T_g = \sum_{n=1}^N \frac{q_n - q_{n-1}}{4\pi\lambda} \ln(t - t_n) + q_N \left[R_b + \frac{1}{4\pi\lambda} \left(\ln\left(\frac{4a}{r_b^2}\right) - \gamma \right) \right]$$

6.13

$$T_f(t) = \frac{1}{2}(T_{f,in}(t) + T_{f,out}(t))$$

6.14

$T_{f,in}(t)$, $T_{f,out}(t)$... teplota vody v kolektoru na vstupu, výstupu z vrtu (K)

T_g ... průměrná teplota hornin v okolí vrtu neovlivněném odběrem tepla (K)

q_n ... výkon elektrokotle dodávaný na 1 m vrtu (W/m)

γ ... Eulerova konstanta = 0,5772

t ... čas (hod)

λ ... měrná tepelná vodivost hornin (W/mK)

a ... součinitel teplotní vodivosti hornin (m²/s)

r_b ... poloměr vrtu (m)

R_b ... celkový odpor mezi stěnou vrtu a nemrznoucí směsí v kolektoru (K/Wm)

Hodnota T_g je určována měřením teploty vody v kolektoru při cirkulaci vrtem před startem elektrokotle. Z výše uvedeného vztahu je možné vypočítat celkový odpor vrtu R_b , protože ostatní veličiny jsou známy.

Na hodnotu celkového odporu R_b má velký vliv teplotní odpor injektážní směsi, kterou je celý vrt vyplněn. V USA je kladen velký důraz na kvalitu injektážní směsi: např. americká firma Geothermal Resource Technology, Inc. nabízí proměřování teplotního odporu dodaného vzorku injektážní směsi. V USA jsou také zkoumány speciální injektážní směsi se sníženým teplotním odporem.

V České republice se zatím testování tepelné vodivosti hornin in-situ neprovádí. Využití výpočtového software pro dimenzování vrtů rovněž není běžnou záležitostí. Ve většině případů se v naší provozní praxi postupuje těmito způsoby:

- 1) hloubka vrtů je určována jako podíl topného výkonu tepelného čerpadla a maximálního teplotního zisku z 1 m vrtu (ten je doporučován některými výrobci tepelných čerpadel v rozmezí 40 – 70 W/m)
- 2) hloubka vrtů je určována jako podíl chladicího výkonu tepelného čerpadla a maximálního teplotního zisku z 1 m vrtu
- 3) hloubka vrtů je určována na základě empirických zkušeností s provozem tepelného čerpadla poblíž dané lokality
- 4) hloubka vrtů je přejímána pro daný typ tepelného čerpadla z firemních projekčních podkladů

Odpovědné instalační firmy zpravidla používají kombinaci výše uvedených způsobů stanovení hloubek vrtů. Je nutné zdůraznit, že způsob 2) může vést k poddimenzování hloubky vrtů, a to hlavně u většího počtu vrtů, které se projevuje vzájemným teplotním ovlivňováním vrtů.

Optimálním způsobem dimenzování vrtů bude kombinace:

- výpočtového software,
- stanovení tepelné vodivosti hornin a celkového odporu vrtu in-situ,
- využití dřívější zkušenosti při instalaci většího počtu vrtů v podobných geologických podmínkách.

7. VRTY PRO TEPELNÁ ČERPADLA

V současné době jsou vrty pro tepelná čerpadla realizovaná v západní Evropě vysoce specializovanou záležitostí: byly vyvinuty speciální technologie vrtání. Jednou z takovýchto firem je německý výrobce vrtných souprav typu NORDMEYER (viz **Obr. 13.**), který dodává také speciální technologii pro vrtání vrtů na TČ.



Obr. č. 13. Vrtná souprava typu NORDMEYER vybavená speciální technologií pro realizaci vrtů pro tepelná čerpadla

Firma NORDMEYER ročně realizuje přes 60.000 metrů vrtů pro tepelná čerpadla v zemích západní Evropy. Tato technologie je založena na rotačně příklepném vrtání s vodovzdušným výplachem od povrchu terénu do konečné hloubky vrtu (maximálně do cca 150m). Pouze v jílovitých horninách je používána technologie rotačního vrtání s listovým dlátem a vodovzdušným výplachem. Obrovskou výhodou této technologie je aplikace dvojité rotační hlavy v úvodním intervalu vrtu umožňující současné vrtání a pažení vrtu v nesoudržných a nestabilních horninách.

Pokud je stavební objekt vytápěn dvěma a více vrty, pak se v současné provozní praxi používá paralelního zapojení vrtů – viz **Obr. 7.**

Přednosti výše popsané technologie jsou následující:

- umožňuje úspěšně realizovat vrty i ve velmi nepříznivých geologických podmínkách
- díky progresivnímu systému propažování vrtů a krátké manipulační době s vrtnou kolonou umožňuje vysokou produktivitu práce, tzn. relativně velmi rychlou realizaci a vystrojení vrtu i v nepříznivých geologických podmínkách
- kolektor je zhotoven z vysoce kvalitních HDPE trubek PN 1,6 MPa spojených HDPE kompaktní paticí navařovanou autematem
- umožňuje injektovat vrt odspoda nahoru a tím je zaručena homogenní výplň celého stvolu vrtu
- je velmi šetrná k okolí: ústí vrtu je po celou dobu realizace vrtu těsněné, takže lze vrtat i v ulicích obcí, aniž by došlo k potřísnění okolí vrtu vrtným výplachem
- vrtné průměry jsou relativně malé (152/120mm) – tím je umožněn těsnější kontakt PE-kolektoru s horninou, objem vrtné drti pro likvidaci je relativně malý, malý průměr vrtu znamená také menší problémy se stabilitou stěny vrtu
- výsledným efektem aplikace této speciální technologie je velmi příznivá cena 1 m vystrojeného vrtu při vysoké kvalitě provedeného díla

V Evropě jsou realizovány vrty pro tepelná čerpadla až do hloubky 300m, a to technologií rotačně příklepného vrtání s ponorným kladivem poháněným vodním výplachem. Tato technologie vyžaduje čerpací agregát, který musí vyvíjet výstupní tlak až cca 18 MPa a litráž 150 litrů/min. Vzhledem k vysokým nárokům na množství a čistotu technické vody pro efektivní chod tohoto typu ponorného kladiva není zatím tato technologie v ČR používána.

7.1 Realizace zkušebních vrtů pro areál auly a CIT TU VŠB v Ostravě - Porubě

Ve dnech 15. – 19.3. 2005 byly na parcele č. 1738/37 a 1738/30, katastrální území Poruba, provedeny 2 zkušební vrty pro tepelné čerpadlo. Cílem realizace vrtů bylo provést v těchto vrtech výzkum tepelných vlastností provrtaných hornin. Výsledky výzkumu budou sloužit pro návrh počtu, hloubky a uspořádání vrtů k vytápění a klimatizaci areálu novostavby auly a CIT TU VŠB v Ostravě.

Vrtné práce byly realizovány dle prováděcího projektu DPV – 047-02-03-2005 (Ryška, J., 2005) firmou OKD, DPB, a.s. dle Vyhlášky ČBÚ č. 239/1998 Sb. na základě povolení, resp. kladného vyjádření Městského úřadu Ostrava – Poruba a ohlášení na Obvodní báňský úřad v Ostravě.

Vrty byly lokalizovány cca 150m od sebe, a to v místech předpokládaného pole vrtů, aby byly využitelné taktéž pro budoucí záměr vytápění a klimatizaci stavebního objektu.

Pro vrtné a vystrojovací práce byla použita vrtná souprava:

Typ soupravy	NORDMEYER DSB 2/10 (na podvozku MERCEDES Actros 3331)
nosnost lafety	150 kN
parametry rotační hlavy:	
max. M_k	10.500 Nm při 0 - 85 ot/min

max. přítlak	50 kN
max. tah	100 kN
pohon	diesel-hydraulický – výkon motoru: 100 kW/1.168 ot/min
těžní vrátek	Ø lana 10mm, maximální tah 19 kN, max. rychlostí těžení 1,4 m/s
výplachové čerpadlo	šnekové na nástavbě vrtné soupravy poháněné diesel-hydraulickým agregátem



Obr. č. 14. Injektáž zkušebního vrtu č. 2 pomocí speciální injektážní směsi STÚWATERM 2000Z

Jako zdroj stlačeného vzduchu pro vrtné práce byl použit kompresor:

Typ kompresoru	Max. pracovní tlak	Max. dopravované množství vzduchu
ATLAS COPCO XRHS 385	21bar	21 - 23 m ³ /min

Počet vrtů: 2
Konečná hloubka každého vrtu: 130m
Úklon vrtů: svislý

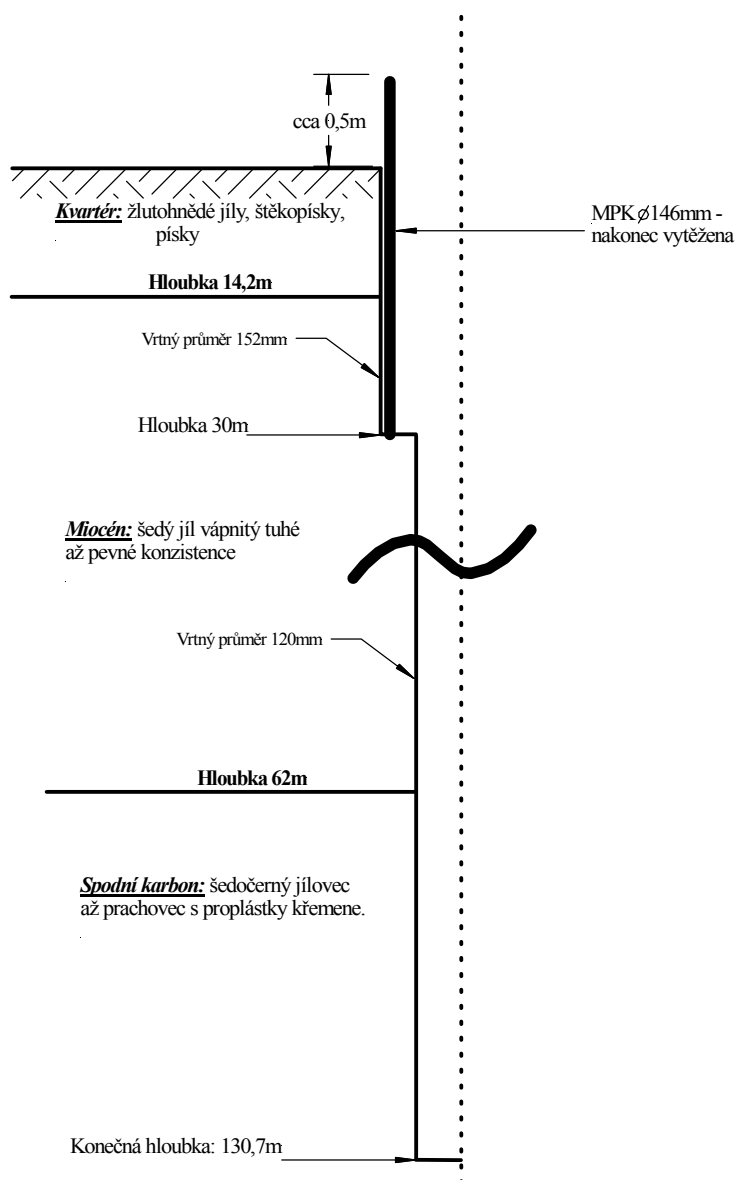
Konstrukce vrtů

Počáteční průměr vrtů: 152mm do hloubky 30m, resp. 28m
Konečný průměr vrtů: 120mm v intervalu 30m, resp. 28m – 130m (konečná hloubka vrtů)

Název pažnicové kolony	Délka pažnicové kolony (m)	Průměr vnější (mm)	Tl. stěny (mm)	Závit	Metrová hmotnost (kg)	Max. celková tíha na vzduchu (kN)
manipulační MPK	30, resp. 28	146	12,1	NORDMEYER	25,5	6,3

Poznámka: pata MPK byla v řezném provedení – s TK roubíky.

Na **Obr.15.** je schéma konstrukce vrtu realizovaného technologií NORDMEYER.



Obr. 15. Schéma konstrukce zkušebního vrtu č. 1 pro aulu+CIT TU VŠB Ostrava

Zdůvodnění konstrukce vrtů:

MPK byla zapažena za účelem dočasné stabilizace stvolu vrtu v jeho horní části, kde se vyskytují nezpevněné sedimenty kvartéru a miocénu. MPK nebyla cementována. Po ukončení vrtu a jeho vystrojení byla MPK z obou vrtů vytěžena.

Vrty byly realizovány do konečné hloubky 130m bez dalšího pažení.

Zařízení na ústí vrtů

Na ústí každého vrtu byla instalována ucpávková těsnicí hlava pro odvod vrtné drtě do kontejneru přistaveného stavební firmou. Takto bylo zamezeno rozstříku vrtné drti s vodou po okolí vrtů.

Sestava vrtné kolony byla následující:

Průměr vrtných trubek (mm)	Délka trubek ve vrtné koloně (m)	Tl. stěny (mm)	Závit	Metrová hmot- nost (kg)	Max. celková tíha na vzduchu (kN)
95	130	6,3	NORDMEYER	16,5	21,1

Postup prací při hloubení vrtů

Interval vrtů pro manipulační pažnicovou kolonu (MPK):

Interval byl provrtán technologií rotačně-příklepného vrtání se vzduchovým výplachem, a to s průběžným propažováním vrtů. Byla použita dvojité rotační hlava, která umožňuje současné vrtání a pažení vrtu pomocí vrtné kolony silnostěnných trubek ø95mm s ponorným kladivem COP 44 a dlátem MITSUBISHI ø152 a pomocí silnostěnných pažnic ø146mm s pažnicovou patou – roubíkovou TK. Princip technologie spočíval v předvrtávání vrtu pomocí ponorného kladiva s dlátem, které má oproti pažnicové koloně předstih 8 - 15cm. Do tohoto předvrtu byla současně pažena manipulační pažnicová kolona, která také rotuje, a tím byla eliminována možnost jejího přichvatu v nezpevněných horninách.

Hloubka pažení MPK byla 30, resp. 28m dle geologických podmínek ve vrtech.

Po zavrtání manipulační pažnicové kolony ø146mm do relativně kompaktních hornin byla dvojité rotační hlava demontována a vrtná kolona vytěžena.

Interval vrtů do konečné hloubky:

Interval byl provrtán technologií rotačního, resp. rotačně-příklepného vrtání se vzduchovým výplachem, bez pažení. Bude použita vrtná kolona ø95mm s třílístým dlátem ø120mm (do hloubky cca 100m), resp. po předpokládaném navrtání skalních hornin s ponorným kladivem a dlátem ATLAS COPCO ø120mm.

Pro řízený odvod vrtné drti bude na ústí manipulační pažnicové kolony instalována mechanická těsnicí hlava opatřená kotouči ze speciální těsnicí pryže, ze které bude drť odváděna otěrurvzdornou pryžovou hadicí DN 100 do kontejneru přistaveného objednatelem.

Po dosažení konečné hloubky a řádném pročištění vrtu vzduchovým výplachem bude vrtná kolona neprodleně vytěžena z vrtu, manipulační pažnicová kolona ø146mm byla ve vrtech dočasně ponechána.

Vystrojení vrtů pro tepelné čerpadlo:

V průběhu vrtání byly na ruční buben nasunuty 2 točence PE-kolektorů $\varnothing 40\text{mm}$ spojenými PE-paticí $\varnothing 95\text{mm}$.

Obr. 16. je PE- kolektor se speciální spojovací paticí svinutý do kotouče před odvozem na vrtné pracoviště.



Obr. 16. Speciální spojovací PE-patice (modré barvy) na kotouči PE-trubek (tzv. PE-kolektor), který je zapuštěn do vrtu pro tepelné čerpadlo

Buben s PE-kolektorem byl upevněn přes vrtnou trubku do svěr upínací hlavy, pomocí které byl přiblížen k ústí zapaženého vrtu tak, aby PE-kolektor mohl být do vrtu hladce zapuštěn.

Pak byl PE-kolektor ručně zapuštěn odvíjením z bubnu se současným přidáváním injektážních trubek 31,8mm délky cca 3m. Při zapouštění byly k PE-kolektoru izolační páskou postupně připojena teplotní čidla (celkem 14 ks) s el. kabelem pro pozdější monitorování teploty ve vrtech.

Po zapuštění injektážní kolony byly PE-kolektory napuštěny dodanou ekologickou nemrznoucí směsí na bázi vody s technickým líhem, aby nedošlo k jejich vyplavení z vrtu při následné injektáži vrtu cemento-bentonitovou směsí.

Následně byla provedena vzestupná beztlaková injektáž stvolu každého vrtu, a to:

- zkušební vrt č. 1: standardní cemento-bentonitovou směsí,
- zkušební vrt č. 2: speciální směsí STÚWATERM 2000Z se zvýšenou tepelnou vodivostí,

kteře byly připraveny v injeztážní lince (nerez nádrž 500 litrů s ejektorovou míchačkou, odstředivé čerpadlo na VS, propojení). Injeztáž vrtu plní tyto funkce:

- ochraňuje PE-kolektor před případným poškozením, resp. smáčkutím při vyjíždění hornin ze stěn vrtu
- vytváří homogenní výplň vrtu bez vzduchových kapes a tím zlepšuje přestup tepla z hornin do PE-kolektoru
- zabraňuje případné křížové kontaminaci zvodnělých vrstev ve vrtu

Vzestupná beztlaková injeztáž stvolu každého vrtu byla realizována pomocí šnekového čerpadla, které je součástí vrtné soupravy. Po injeztáži vrtů byla vytěžena manipulační pažnicová kolona. Čerpadla, nádrž a hadicové propojení byly propláchnuty čistou vodou.

Vrtná osádka provedla tlakovou těsnostní zkoušku PE-kolektorů v obou vrtech, a to tlakem cca 3 bary po dobu cca 30 minut. Kolektory v obou vrtech byly hermetické, výsledek zkoušky vrtná osádka zapsala do vrtného deníku. Jednotlivé trubky PE-kolektorů byly na ústí ovázány izolepou, aby bylo zabráněno případnému průniku nečistot do kolektorů. Kolektory u obou vrtů, které vyčnívají cca 1m nad terén byly ukryty v ocelovém ochranném nadstavci (pažnice Ø152mm), kolem každého vrtu bylo postaveno oplocení cca 3 x 3m.

V další fázi byly na obou vrtech realizovány polní zkoušky za účelem zjištění některých tepelných vlastností horninového masivu na dané lokalitě.

Orientační parametry režimu vrtání, vrtné nástroje

VRT	VRTNÉ NÁSTROJE			VÝPLACH	
interval od-do (m)	druh a průměr použitých nástrojů	přítlak (kN)	otáčky (min ⁻¹)	druh výplachu	dodávané množství
0 – do 30m, resp. 28m	TK Ø148mm, dláto MITSUBISHI Ø152mm (dvojitá vrtná kolona s ponorným kladivem COP 44)	do 6	do 20	vzduchový výplach s nástřikem vody	max. 21 – 23 m ³ /min vzduchu
30m, resp. 28m – do 130	Dláto třílisté Ø120mm + ponor. kladivo COP 44 s dlátem Ø120mm	do 6	do 30	vzduchový výplach s nástřikem vody	max. 21 – 23 m ³ /min vzduchu

Požadavky a způsob odběru vzorků horniny

Vrty byly realizovány s odběrem vzorků vrtné drti do dvojitých PE – sáčků s popisnými štítky, interval odběru vzorků:

- v kvartéru: každých 5m
- v miocénu a karbonu: každých 10m
- při každé výrazné změně vrtatelnosti hornin, resp. litologie hornin

Odběr vzorků prováděla vrtná osádka, geologické vyhodnocení vrtů prováděla OKD, DPB, a.s.

Druh parametry a množství výplachu

Hloubka:

0 – do 130m

vrtání se vzduchovým výplachem + nástřík vody z vodovodní přípojky stavby

Vrtná drť byla pomocí odfukové otěruvzdorné hadice DN 100 odváděna do kontejneru přistaveného stavbou. Tato odfuková hadice byla propojena buď s dvojitou vrtnou hlavou (interval zavrtávání manipulační pažnicové kolony) nebo se speciální těsnicí hlavou (interval do konečné hloubky vrtu bez pažení). Na konci hadice byl instalován speciální tlumič/usměřovač vrtné drti, který zabránil rozstříku drti po okolí. Takto byl zajištěn řízený odvod vrtné drti z ústí vrtů, aniž by docházelo k nekontrolovatelnému úletu vrtné drtě po okolí vrtů.

Opatření k zabezpečení požadavků na ochranu životního prostředí

Vrty budou realizovány se vzduchovým proplachem, vrtná drť bude proto představovat přírodní materiál s podzemní vodou. Drť bude v průběhu vrtání uskladňována do kontejneru přistaveného objednatelem. Voda s dispergovaným horninovým materiálem bude čerpána z kontejneru do autocisterny. Likvidaci vrtné drti a vody zajistily ŽS Brno, a.s.

Injektáž stvolu vrtu cementobentonitovou směsí od počvy vrtu až do hloubky cca 2m pod úroveň terénu zamezily případné křížové kontaminaci vrtem zastižených zvodnělých vrstev.

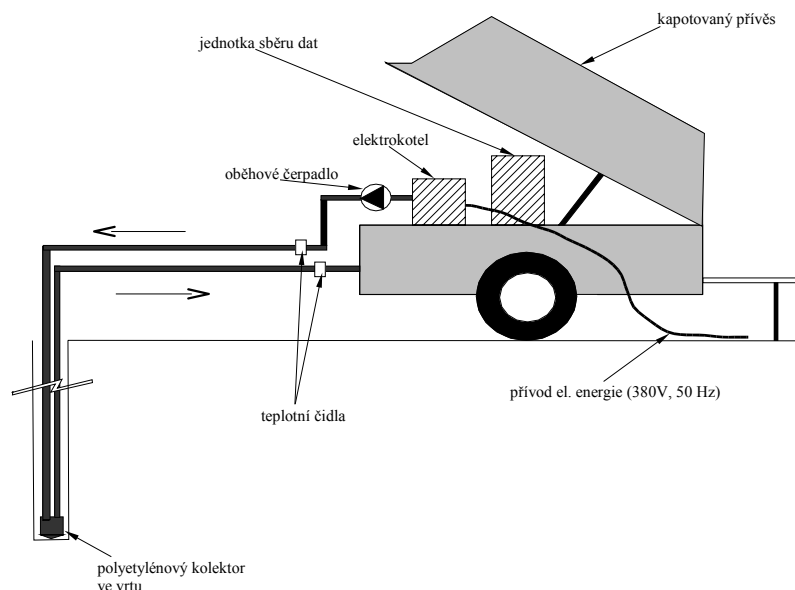
Vystrojovací materiál vrtů (polyetylén PE-100 a injektážní směs) vylučuje kontaminaci podzemních vod a provrtávaných hornin.

Případné úkapy hydraulického oleje z vrtné soupravy byly zachycovány sorbčními rohožemi umístěnými pod podvozkem vrtné soupravy.

Realizace Thermal Response Testu

Metodika Thermal Response Testu (dále TRT) byla vypracována doc. Göranem Hellströmem z Lund University (Švédsko), který je rovněž autorem mobilní testovací aparatury. Pro danou lokalitu byly TRT projednány s doc. G. Hellströmem v únoru 2005 na TU VŠB v Ostravě.

Testování TRT se provádí ve vrtu vystrojeném PE-kolektorem a vyplněném injektážní směsí. PE-kolektor naplněný vodou je pak napojen na konstantní zdroj tepla (elektrokotel), voda je pomocí oběhového čerpadla cirkulována PE-kolektorem, přičemž jsou měřeny a snímány energetický příkon a teplota na vstupu a výstupu z PE-kolektoru (viz **Obr. 17**).



Obr. 17. Zjednodušené schéma mobilní měřicí aparatury pro realizaci TRT na vrtu

Po vrtání se vzduchovým výplachem bylo nutné zachovat časovou prodlevu minimálně 5 dnů od ukončení injektáže než bylo zahájeno testování ve vrtech.

Testovací práce byly realizovány na každém zkušebním vrtu pomocí kapotovaného testovacího zařízení na jednonápravovém podvozku, které bylo obsluhováno 1 spolupracovníkem Lund University. Pro testovací práce byla zajištěna dodávka ekologické nemrznoucí směsi (cca 300 litrů/1 vrt) a el. energie po celou dobu každého testu (el. rozvaděč 380V/50 Hz, jistič 16A).

Účelem testovacích prací bylo zjistit některé tepelné vlastnosti horninového masívu, které jsou nezbytné pro stanovení počtu, hloubky a rozmístění vrtů pro projekt vytápění auly a CIT VŠB Ostrava pomocí tepelných čerpadel.

Pracovní postup při testování byl následující:

- umístění testovacího karavanu co nejblíže vrtu, aby se minimalizovalo teplotní ovlivnění nadzemní části PE-kolektoru počasím, ustavení přívěsu se snímací elektronikou
- připojení kolektoru k testovacímu zařízení,
- izolace nadzemní části kolektoru, která vede k testovacímu zařízení, aby se zabránilo teplotnímu ovlivnění okolním prostředím,
- doplnění kolektoru a celého okruhu nemrznoucí směsí, cirkulace směsi v okruhu pomocí oběhového čerpadla, aby se odstranily případné vzduchové bubliny z kolektoru,
- nastartování systému ukládání dat, seřízení rychlosti ukládání dat na požadovanou hodnotu, start cirkulačního čerpadla - krátká zkouška funkčnosti zařízení
- cirkulace nemrznoucí směsi oběhovým čerpadlem testovacího zařízení po dobu několika hodin za účelem záměru teploty horninového masívu v přirozeném stavu,
- zapnutí elektrokotle na požadovaný příkon,
- snímání teploty nemrznoucí směsi v kolektoru na vstupu a výstupu z vrtu,
- vypnutí cirkulačního čerpadla, odpojení systému sběru dat,
- odstranění izolace z nadzemní části kolektoru a odpojení testovacího zařízení.

Po realizaci testu byly jednotlivé trubky kolektorů opět ovázány izolepou a ústí každého vrtu vybaveno ochrannou ocelovou pažnicí Ø152mm s oplocením.

8. Výsledky Thermal Response Testu ve zkušebních vrtech č.1 a č.2

8.1 Úvod

Při projektování tepelného zdroje pro velké stavby je velmi složitá otázka jak navrhnout primární okruh tepelných čerpadel – optimalizovat hloubku a rozteč vrtů vzhledem k možnému poddimenzování a současně podchlazení podloží.

Vzhledem k tomu, že se pro vytápění auly předpokládá instalovaný tepelný výkon 650 – 700 kW, jedná se v současnosti o největší připravovanou instalaci tepelných čerpadel země/voda v české republice a současně v Evropě.

Tým pracovníků VŠB proto posoudil míru rizika jako příliš vysokou pro běžný postup návrhu primárního kolektoru a bylo rozhodnuto využít zkušeností švédských partnerů technické univerzity v Lundu - profesora Göran Hellströma.

Bylo dohodnuto, že před vlastním dimenzováním se provede průzkum tepelných vlastností podloží v okolí auly a na základě skutečně naměřených hodnot bude proveden vlastní návrh vrtů.

Pracoviště technické univerzity Lund a prof. Göran Hellström byl zvolen na základě předchozích zkušeností firem zabývajících se využitím tepelných čerpadel vyšších výkonů, kdy tento tým provedl úspěšně řadu teoretických měření pro konkrétní instalace tepelných čerpadel ve světě. Teoretické hodnoty měření pak byly potvrzeny dlouhodobým sledováním těchto instalací v praxi.

8.1.1 Navrhovaný postup TRT

Pro Vysokou školu Báňskou – Technickou univerzitu byl konzultován a odsouhlasen postup ve čtyřech fázích v závislosti na reálnosti instalace tepelných čerpadel takto:

- 1 – provést dva průzkumné vrty a jejich měření tepelné vodivosti
- 2 – v případě realizace tepelných čerpadel jako zdroje tepla pro budovu CIT provést optimalizaci vrtů – jejich hloubky a rozteče v ploše kolem budovy CIT
- 3 – v průběhu vrtných prací pro tepelná čerpadla instalovat do vybraných vrtů teplotní čidla s napojením na centrální vyhodnocení
- 4 - v průběhu let využít naměřené hodnoty k dopřesnění event. rozšíření teoretických znalostí o teplotních vlastnostech masivu a teoretickém modelování projevů teplotní změny v čase.

Takto navržený postup současně otevírá možnosti spolupráce VŠB s ostatními světovými pracovišti zabývajícími se touto problematikou. Předpokládá se celosvětově vyšší využití alternativních zdrojů – tepelných čerpadel a tedy praktické využití tohoto výzkumu.

8.2 Zkouška teplotní odezvy - THERMAL RESPONSE TEST Vrt č.1



**Obr. 18. Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava
050405-050408**

Zkouška teplotní odezvy (thermal response test, dále jen TRT) se provádí pro stanovení termálního výkonu tepelného výměníku ve vrtu. Provedením TRT získáme následující informace: účinnou tepelnou vodivost podloží, tepelný odpor vrtu a stálou teplotu země. Měření probíhá nejméně 50 hodin, přičemž se zkoumá teplotní odezva, která je následně zaznamenávána.

Informace o vrtu

Konec vrtání	
Vrt 1 - Průměr - Hloubka	120 mm 130 m
Kolektor I Jednoduché U-potrubí Hloubka	HDPE 40mm/32,8mm PN16 130 m
Výplň	bentonit + cement
Nosič tepla ve vrtu	25% lín
Stav vody v průběhu vrtání	Silný přítok ve 105 m

Zkouška teplotní odezvy - TRT

Topné těleso a cirkulační pumpa, které jsou součástí výbavy nutné k provedení TRT dodávají maximální výkon 9-10 kW do vrtu. Aktivní systém tepelného výměníku ve vrtu obvykle získá maximálně 40 - 50 W/m během topné sezóny a vydá 30 - 90 W/m během chladicí sezóny.

Tepelný výkon TRT jednotky je použitelný pro vrty o hloubce méně než 200-250 m.

TRT začíná cirkulací teplotnosného média bez jakékoliv dodávky tepla zhruba kolem 4 hodin než se stabilizuje na hodnotě teploty země - podloží. Poté test pokračuje 3 dny s tepelným příkonem 8,2 kW. Test trvá celkem 75,4 hodin. Během testu jsou měřeny následující parametry, které jsou zaznamenávány každých 5 minut: energetický příkon, průtok nosiče tepla, vstupní a výstupní teploty nosiče tepla, teplota nosiče tepla mezi oběhovým čerpadlem a topným tělesem; referenční teplota v přívěsu a venkovní teplota.

Protokol měření

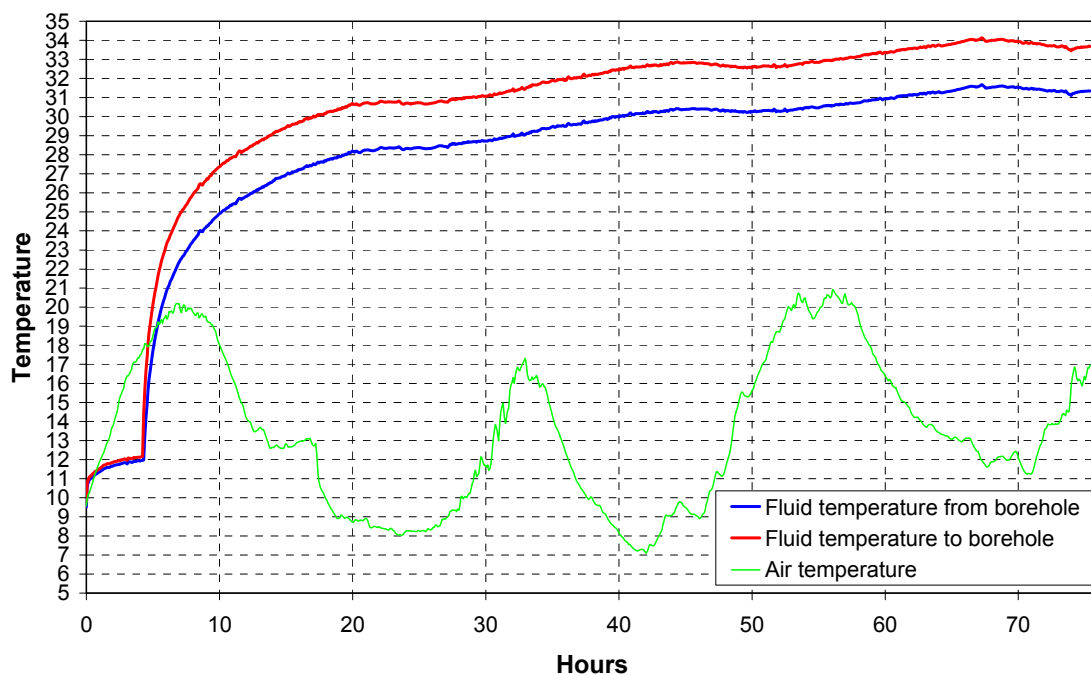
Start cirkulačního čerpadla	050405 07.50
Start topení	050405 12.10
Topení vypnuto	050408 11.15
Cirkulační pumpa vypnuta	050408 11.15
Trvání (ohřevu)	71.5 hodin
Průměrný výkon (ohřev)	8210 W
Aktivní hloubka vrtu	130 m
Tepelná vydatnost (W/m)	63 W/m

Stálá teplota země

Pro stanovení stálé teploty země ve vrtu, začne zkouška teplotní odezvy, která trvá 4 hodiny. Během těchto 4 hodin ve vrtu cirkuluje kapalina, která není žádným způsobem ohřívána. K nepatrnému ohřevu nosiče tepla – kapaliny v potrubí, dochází v důsledku tření (tlaková ztráta) v oběhovém čerpadle během cirkulace ve vrtu. Na základě vyhodnocení vstupních parametrů byla stanovena stálá teplota země na 10,8 °C.

Účinná tepelná vodivost země a tepelný odpor vrtu

Naměřené hodnoty teploty při koloběhu kapaliny – nosiče tepla společně s teplotou okolního vzduchu (viz obr.19)

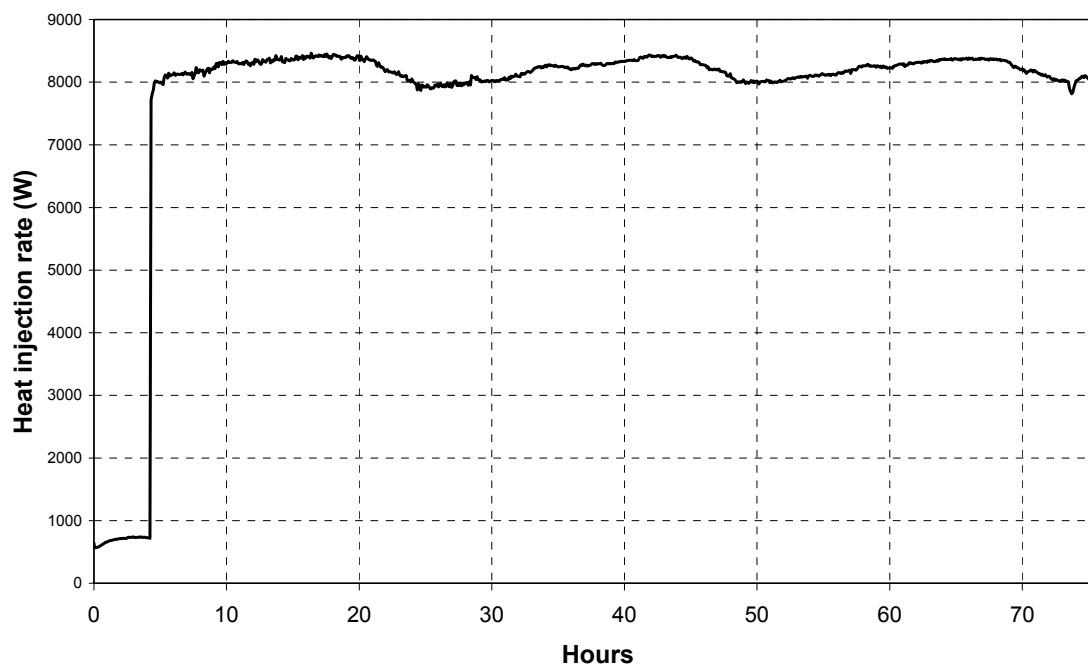


Obr. 19. Měřený vstupní (červená křivka) a výstupní (modrá křivka) teploty nosiče tepla ve vrtu a teplota okolního vzduchu (zelená křivka) jako funkce času teplotní odezvy

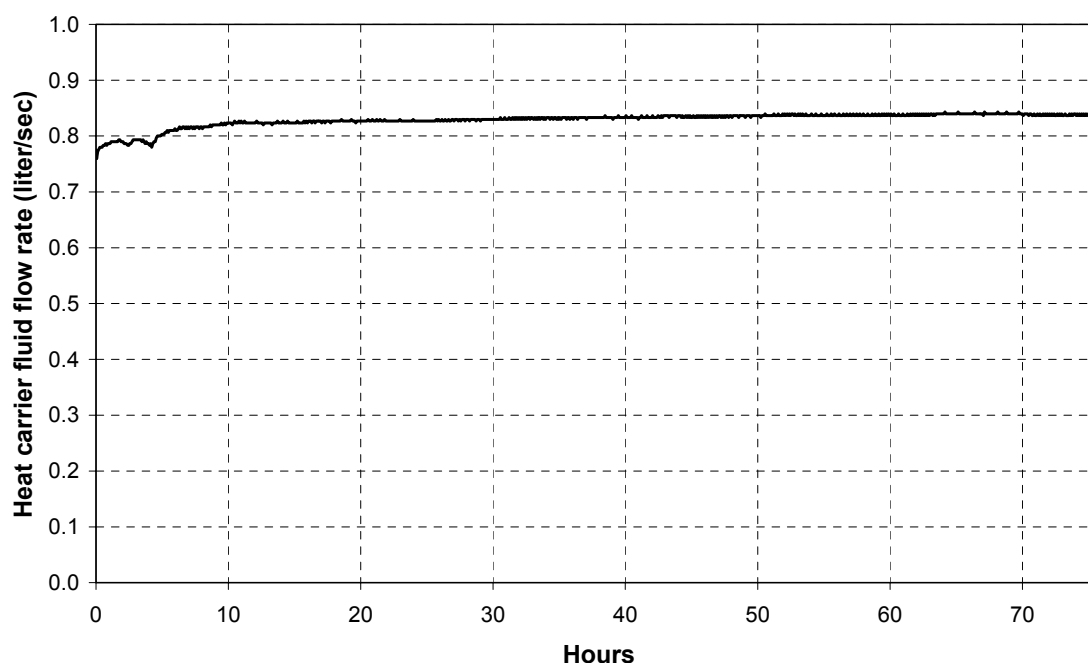
Jsou patrné změny v rozsahu dodávky tepla do vrtu během měření jako výsledek změn v elektrické síti, což má za následek drobné rušení.

Oběhové čerpadlo a topné těleso dodává průměrný výkon 8.2 kW do nosiče tepla, viz obr. 20.

Měřený průtok nosiče tepla je zobrazen na obr. 21. Průměrná hodnota průtoku je 0.83 l/s.



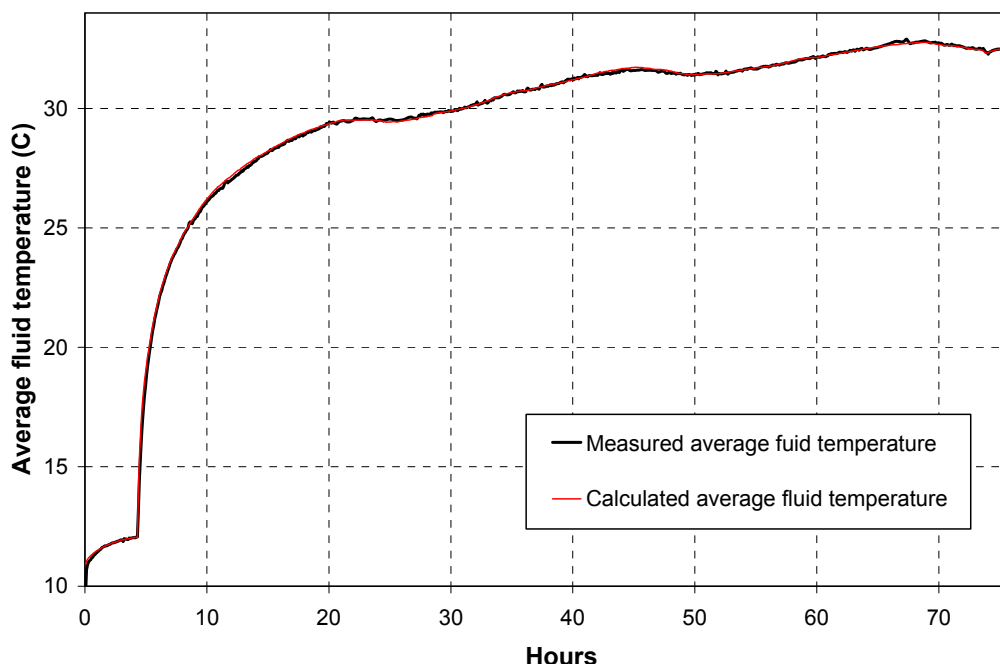
Obr. 20. Tepelný výkon předaný do roztoku – nosiči tepla.



Obr. 21. Měřený průtok roztoku – nosiče tepla

Hodnota teplotní odezvy je tvořena číselným modelem založeným na metodě konečného rozdílu, přičemž se bere v úvahu závislost hodnoty teplotní odezvy na čase. Přenos tepla v zemi je vedením. Rozdíl mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami je částečně eliminován po 15 hodinách od spuštění topného tělesa až do konce zkoušky, podle mezinárodních norem pro zkoušky teplotní odezvy. Během minimalizace těchto rozdílů jsou tyto hodnoty: účinná vodivost země a tepelný odpor mezi roztokem a stěnou vrtu považovány za volné parametry. Nejlépe srovnatelných hodnot mezi vypočítanou a naměřenou hodnotou

teploty roztoku je dosaženo když vodivost země je 2,168 W/m,K a teplotní odpor vrtu je 0,164 K/(W/m). Stálá teplota země je 10,8 °C, viz obr. 22.



Obr. 22. Měřená a předpokládaná teplota roztoku, když je během simulace vodivost země stanovena na 2,17 W/m,K a teplotní odpor vrtu 0,164 K/(W/m). Aktivní hloubka vrtu je změřena na 130 m a stálá teplota země je 10,8 °C. Číselný model je použit pro výpočet konečné teploty

Geologické podmínky

Geologické podmínky jsou popsány ve vrtné zprávě průzkumného vrtu, zpracované Ing. Jiřím Ryškou, DPB.

Kvartér 0-14,2m: jíl;šterk a písek; jílovitý písek; velmi nízký přítok vody
Miocen 14,2 - 62m: pevný jíl - žádný přítok vody
Spodní karbon62 - 130m : kámen - jílovitý; naplaveniny s pískovcovými pruhy
Silný přítok vody ve 105m

Databáze programu EED zobrazuje tepelnou vodivost pro následující materiály:

Materiál	Minimum	Doporučené	Maximum
Jíl	0,90	1,6	2,2
Jílovec	1,05	2,2	3,02
Naplavenina	1,28	2,3	5,10
Pískovec	1,31	2,4	3,52

Za předpokladu že je doporučená hodnota pro jíl (1,6) ve vrchních 62 metrech a průměrná hodnota pro zbývající horniny (2,3) ve spodních 68 metrech vychází průměrná tepelná vodivost 2,0 W/(m/K), což bude považováno za hrubý odhad.

Přenos tepla v zemi

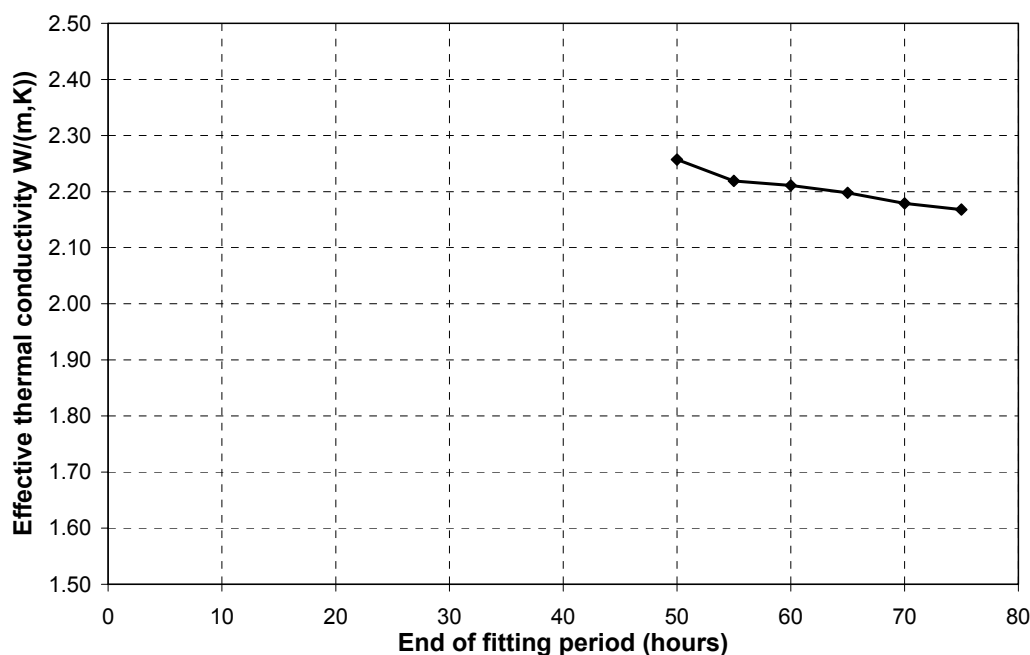
Použitý způsob měření předpokládá, že přenos tepla v zemi je pouze vedením tepla. Na přenos tepla může mít vliv pohyb podzemní vody. U tohoto typu přenosu tepla můžeme při měření dojít k vyšším výsledkům, než kdyby měření bylo prováděno v laboratoři bez rušivých vlivů podzemních vod. Účinné vedení tepla závisí na geohydrologických podmínkách v oblasti a také se mohou vyskytovat rozdíly mezi jednotlivými vrty.

Rozdíly ve vedení podzemní vody

V této oblasti jsou přirozené přítoky podzemních vod. Tento vodorovný pohyb je způsoben rostoucími hladinami spodní vody (rozdíly v hydrostatickém tlaku v oblasti). V málo propustných oblastech a při takto krátkém měření to má za následek jen malé rozdíly. Velká změna přenosu tepla vedením nastane, když teplo podzemní vody způsobí rozdíl teplotně závislých hodnot hustoty, což má za důsledek růst vztlaku. Vliv rostoucího vztlaku závisí na horizontální a vertikální propustnosti okolního materiálu.

Pokud má tok spodní vody vliv na teplotní odezvu, tak to můžeme pozorovat během testu, když má účinná tepelná vodivost tendenci stoupat s přibývajícím délkou testu. Teplota nosiče tepla dosáhne konstantní teploty když je hodnota průtoku spodní vody vysoká (umožněno, když je dotace tepla z okolí konstantní). K prozkoumání tohoto efektu slouží možnost měnit vhodnou dobu, zatímco čas počátku zůstává stejný. Čas počátku je stanoven na 19,8 hodinách a je zvoleno několik časů konce.

Výsledky jsou na obr. 23.



Obr. 23. Účinná tepelná vodivost jako funkce na konci zvolené vhodné doby. Počátek vhodné doby byl stanoven na 19,8h

Pozorujeme velmi malé klesání hodnot účinné tepelné vodivosti, což může být způsobeno nejistotami týkajícími se tepelné kapacity. Předpokládaná účinná vodivost země a tepelný odpor vrtu nepoukazuje na pohyb spodní vody během testu.

Společné hodnoty teplotního odporu vrtu ($K/(W/m)$) z měření pro U-trubky ve tamponovaných vrtech jsou shrnuty v následující tabulce. Rozdíl mezi bentonitem a tepelným cementem je 0,04-0,05 $K/(W/m)$.

8.3 Zkouška teplotní odezvy - THERMAL RESPONSE TEST Vrt č. 2



**Obr. 24. Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava
050408-050412**

Zkouška teplotní odezvy (thermal response test, dále jen TRT) se provádí pro stanovení termálního výkonu tepelného výměníku ve vrtu. Provedením TRT získáme následující informace: účinnou tepelnou vodivost podloží, tepelný odpor vrtu a stálou teplotu země. Měření probíhá nejméně 50 hodin, přičemž se zkoumá teplotní odezva, která je následně zaznamenávána.

Informace o vrtu

Konec vrtání	
Vrt 1 - Průměr - Hloubka	120 mm 130 m
Kolektor 1 Jednoduché U-potrubí Hloubka	HDPE 40mm/32,8mm PN16 130 m
Výplň	STŮWATERM 2000Z
Nosič tepla ve vrtu	25% lín
Stav vody v průběhu vrtání	Bez přítoku vody

Zkouška teplotní odezvy - TRT

Topné těleso a cirkulační pumpa, které jsou součástí výbavy nutné k provedení TRT dodávají maximální výkon 9-10 kW do vrtu. Aktivní systém tepelného výměníku ve vrtu obvykle získá maximálně 40 - 50 W/m během topné sezóny a vydá 30 - 90 W/m během chladicí sezóny.

Tepelný výkon TRT jednotky je použitelný pro vrty o hloubce méně než 200-250 m.

Tento test byl proveden po testu vrtu č. 1. Počáteční teplota podloží byla měřena v průběhu prvního testu během cirkulace nosiče tepla bez dodávky tepla v průběhu prvních čtyř hodin. TRT začíná cirkulací teponosného média bez jakékoliv dodávky tepla zhruba kolem 4 hodin než se stabilizuje na hodnotě teploty země - podloží. Poté test pokračuje 3 dny s tepelným příkonem 7,6 kW. Test trvá celkem 93,3 hodin. Během testu jsou měřeny následující parametry, které jsou zaznamenávány každých 5 minut: energetický příkon, průtok nosiče tepla, vstupní a výstupní teploty nosiče tepla, teplota nosiče tepla mezi oběhovým čerpadlem a topným tělesem; referenční teplota v přívěsu a venkovní teplota.

Protokol měření

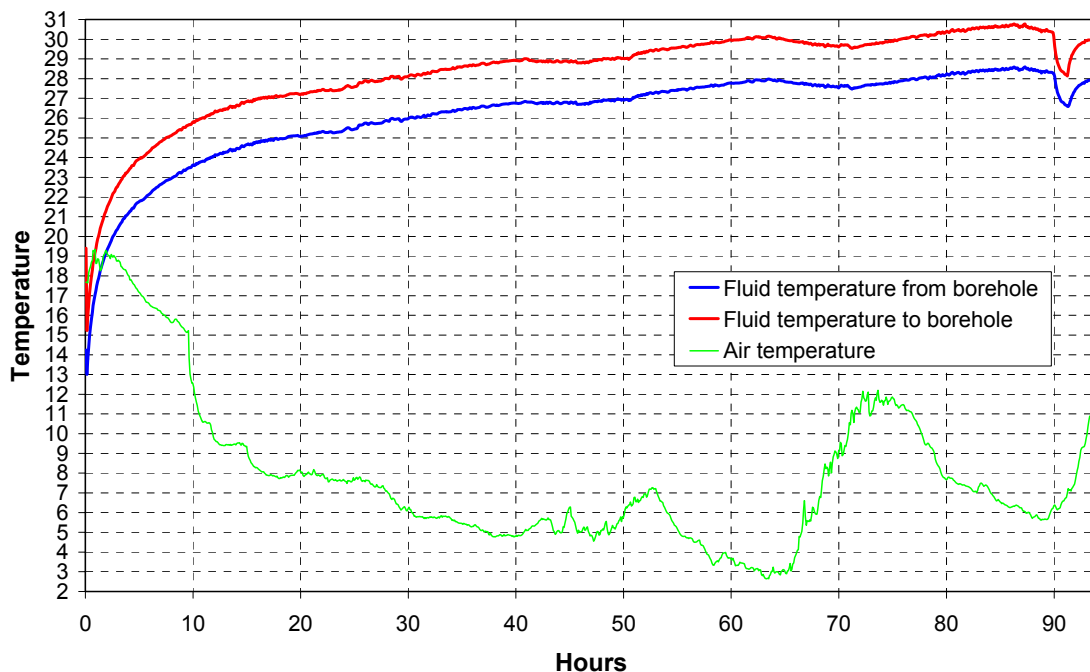
Start cirkulačního čerpadla	050408 13.30
Start topení	050408 13.30
Topení vypnuto	050412 10.45
Cirkulační pumpa vypnuta	050412 10.45
Trvání (ohřevu)	93.3 hodin
Průměrný výkon (ohřev)	7610 W
Aktivní hloubka vrtu	130 m
Okamžitý výkon (W/m)	59 W/m

Stálá teplota země

Pro stanovení stálé teploty země ve vrtu, začne zkouška teplotní odezvy, která trvá 4 hodiny. Během těchto 4 hodin ve vrtu cirkuluje kapalina, která není žádným způsobem ohřívána. K nepatrnému ohřevu nosiče tepla – kapaliny v potrubí, dochází v důsledku tření (tlaková ztráta) v oběhovém čerpadle během cirkulace ve vrtu. Na základě vyhodnocení vstupních parametrů byla stanovena stálá teplota země na 10,8 °C.

Účinná tepelná vodivost země a tepelný odpor vrtu

Naměřené hodnoty teploty při koloběhu kapaliny – nosiče tepla společně s teplotou okolního vzduchu (viz obr. 25.)



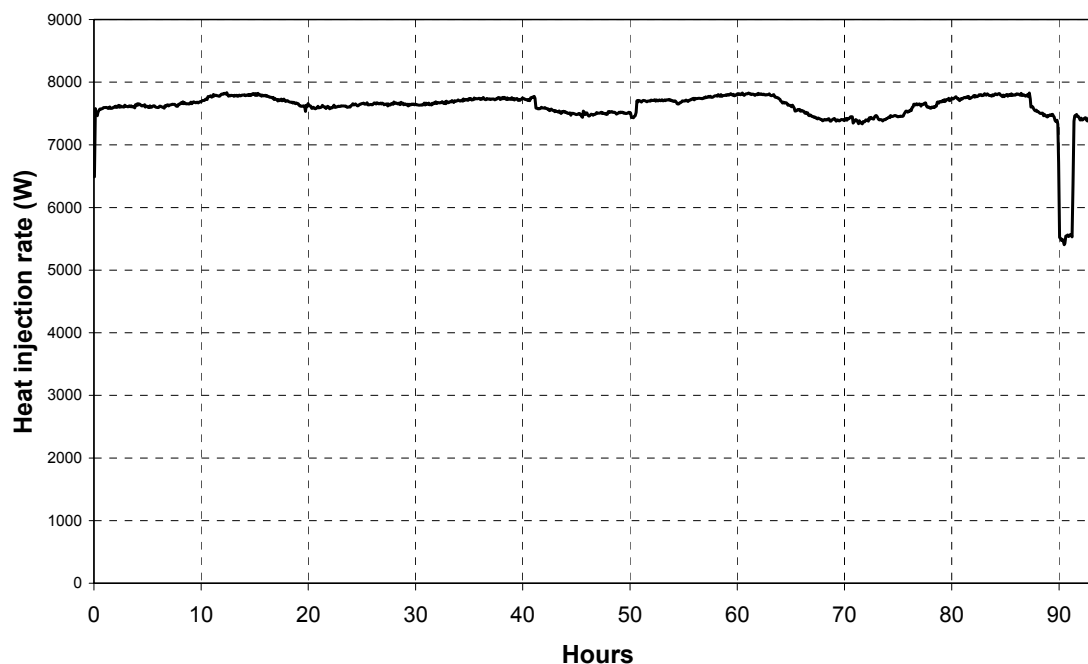
Obr 25. Měřený vstupní (červená křivka) a výstupní (modrá křivka) teploty nosiče tepla ve vrtu a teplota okolního vzduchu (zelená křivka) jako funkce času teplotní odezvy

Jsou patrné změny v rozsahu dodávky tepla do vrtu během měření jako výsledek změn v elektrické síti, což má za následek drobné rušení.

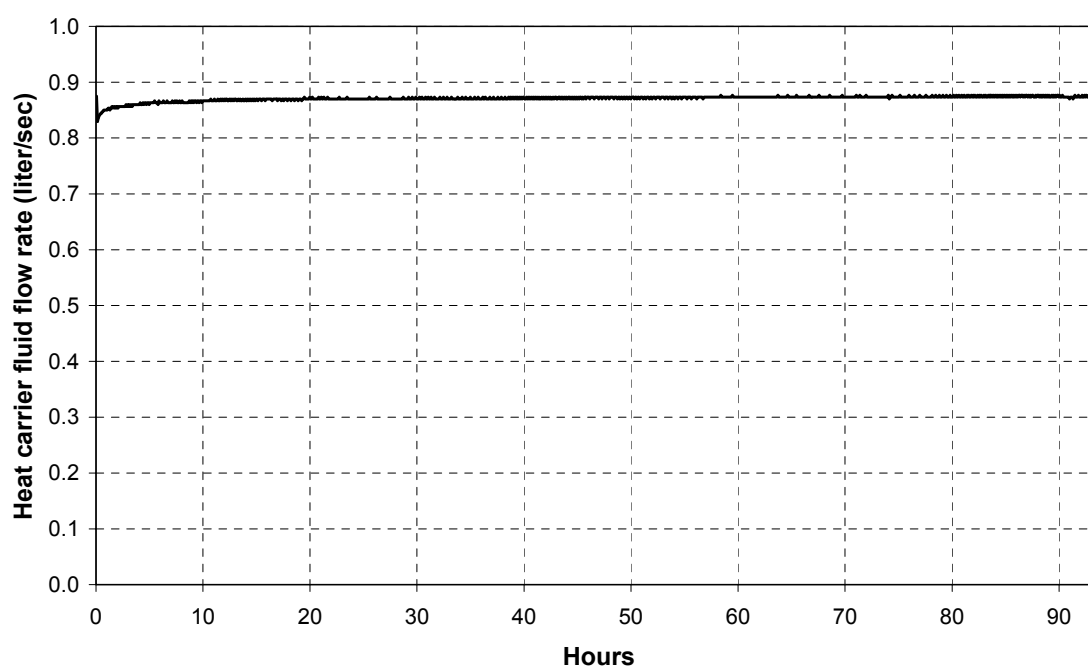
Oběhové čerpadlo a topné těleso dodává průměrný výkon 7,6 kW do nosiče tepla, viz obr. 26.

„Topná“ vstříkovaná dávka byla vědomě snížena po 90 hodinách z 7,6 kW na 5,5 kW na krátkou dobu 80 minut pro posuzování dynamického chování krátkých výkyvů v zatížení.

Měřený tepelný průtok nosiče tepla je zobrazen na obr. 27. Průměrná hodnota průtoku je 0.87 l/s.



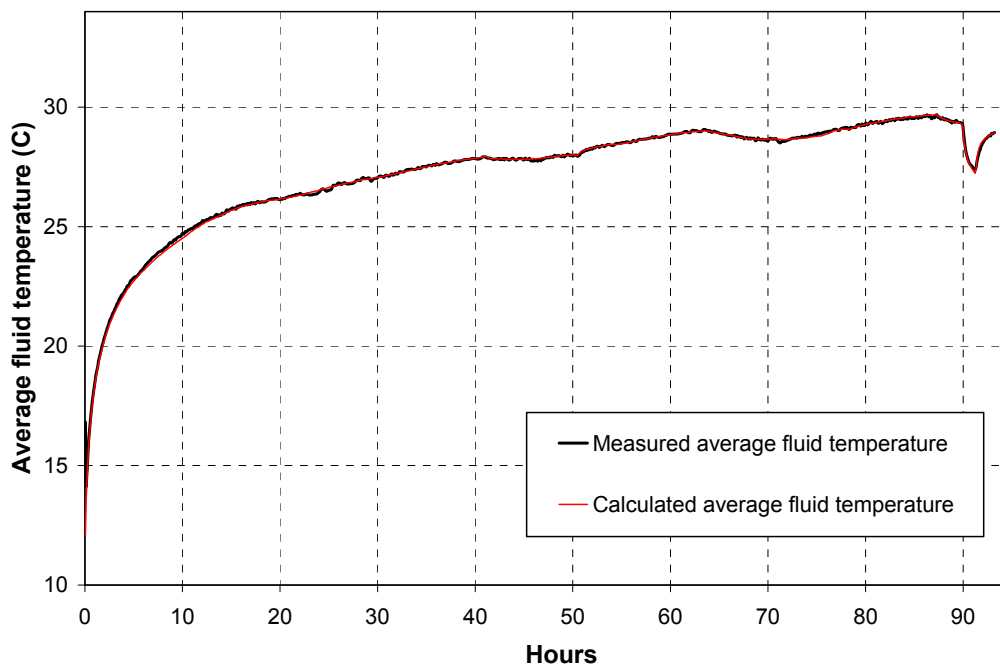
Obr. 26. Tepelný výkon předaný do roztoku – nosiči tepla



Obr. 27. Měřený průtok roztoku – nosiče tepla

Hodnota teplotní odezvy je tvořena číselným modelem založeným na metodě konečného rozdílu, přičemž se bere v úvahu závislost hodnoty teplotní odezvy na čase. Přenos tepla v zemi je vedením. Rozdíl mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami je částečně eliminován po 15 hodinách od spuštění topného tělesa až do konce zkoušky, podle mezinárodních norem pro zkoušky teplotní odezvy. Během eliminace těchto rozdílů jsou tyto hodnoty: účinná vodivost země a tepelný odpor mezi roztokem a stěnou vrtu považovány za volné parametry. Nejlépe srovnatelných hodnot mezi vypočítanou a naměřenou hodnotou

teploty roztoku je dosaženo když vodivost země je 2,116 W/m,K a teplotní odpor vrtu je 0,122 K/(W/m). Stálá teplota země je 10,8 °C, viz obr. 28.



Obr. 28. Měřená a předpokládaná teplota roztoku, když je během simulace vodivost země stanovena na 2,12 W/m,K a teplotní odpor vrtu 0,122 K/(W/m). Aktivní hloubka vrtu je změřena na 130 m a stálá teplota země je 10,8 °C. Číselný model je použit pro výpočet konečné teploty.

Geologické podmínky

Geologické podmínky jsou popsány ve vrtné zprávě průzkumného vrtu, zpracované Ing. Jiřím Ryškou, DPB.

Kvartér 0-14 m: jíl; štěrka a písek; jílovitý písek; velmi nízký přítok vody

Miocen 14,2 – 83,5m: pevný jíl - žádný přítok vody

Spodní karbon 83,5 - 130m : kámen - jílovitý; naplaveniny s pískovcovými pruhy

Bez přítoku vody!!!

Databáze programu EED zobrazuje tepelnou vodivost pro následující materiály:

Materiál	Minimum	Doporučené	Maximum
Jíl	0,90	1,6	2,2
Jílovec	1,05	2,2	3,02
Naplavenina	1,28	2,3	5,10
Pískovec	1,31	2,4	3,52

Za předpokladu že je doporučená hodnota pro jíl (1,6) ve vrchních 62 metrech a průměrná hodnota pro zbývající horniny (2,3) ve spodních 68 metrech vychází průměrná tepelná vodivost 2,0 W/(m/K), což bude považováno za hrubý odhad.

Přenos tepla v zemi

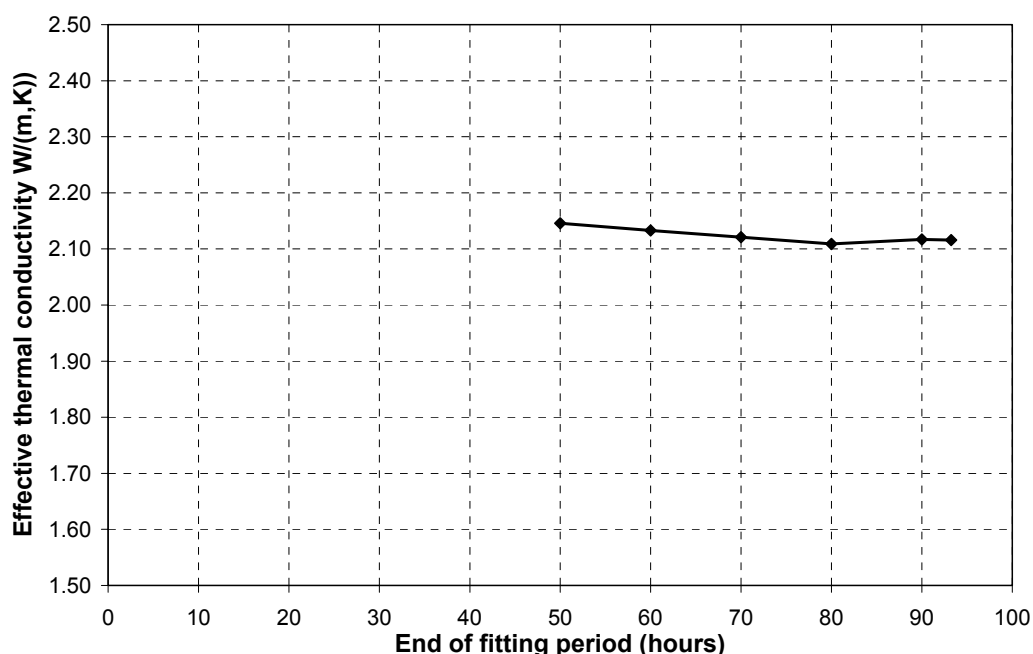
Použitý způsob měření předpokládá, že přenos tepla v zemi je pouze vedením tepla. Na přenos tepla může mít vliv pohyb podzemní vody. U tohoto typu přenosu tepla můžeme při měření dojít k vyšším výsledkům, než kdyby měření bylo prováděno v laboratoři bez rušivých vlivů podzemních vod. Účinné vedení tepla závisí na geohydrologických podmínkách v oblasti a také se mohou vyskytovat rozdíly mezi jednotlivými vrtly.

Rozdíly ve vedení podzemní vody

V této oblasti jsou přirozené přítoky podzemních vod. Tento vodorovný pohyb je způsoben rostoucími hladinami spodní vody (rozdíly v hydrostatickém tlaku v oblasti). V málo propustných oblastech a při takto krátkém měření to má za následek jen malé rozdíly.

Velká změna přenosu tepla vedením nastane, když teplo podzemní vody způsobí rozdíl teplotně závislých hodnot hustoty což má za důsledek růst vzlaku. Vliv rostoucího vzlaku závisí na horizontální a vertikální propustnosti okolního materiálu.

Pokud má tok spodní vody vliv na teplotní odezvu, tak to můžeme pozorovat během testu, když má účinná tepelná vodivost tendenci stoupat s přibývajícím délkou testu. Teplota nosiče tepla dosáhne konstantní teploty když je hodnota průtoku spodní vody vysoká (umožněno, když je dotace tepla z okolí konstantní). K prozkoumání tohoto efektu slouží možnost měnit vhodnou dobu, zatímco čas počátku zůstává stejný. Čas počátku je stanoven na 19,8 hodinách a je zvoleno několik časů konce. Výsledky jsou na obr. 29.



**Obr. 29. Účinná tepelná vodivost jako funkce na konci zvolené vhodné doby.
Počátek vhodné doby byl stanoven na 15 h**

Tepelná vodivost je poměrně stabilní. Předpokládaná účinná vodivost země a tepelný odpor vrtu nepoukazuje na pohyb spodní vody během testu.

Společné hodnoty teplotního odporu vrtu ($K/(W/m)$) z měření pro U-trubky ve tamponovaných vrtech jsou shrnuty v následující tabulce. Rozdíl mezi bentonitem a tepelným cementem je 0,04-0,05 $K/(W/m)$.

Shrnutí

Výsledky zkoušky teplotní odezvy

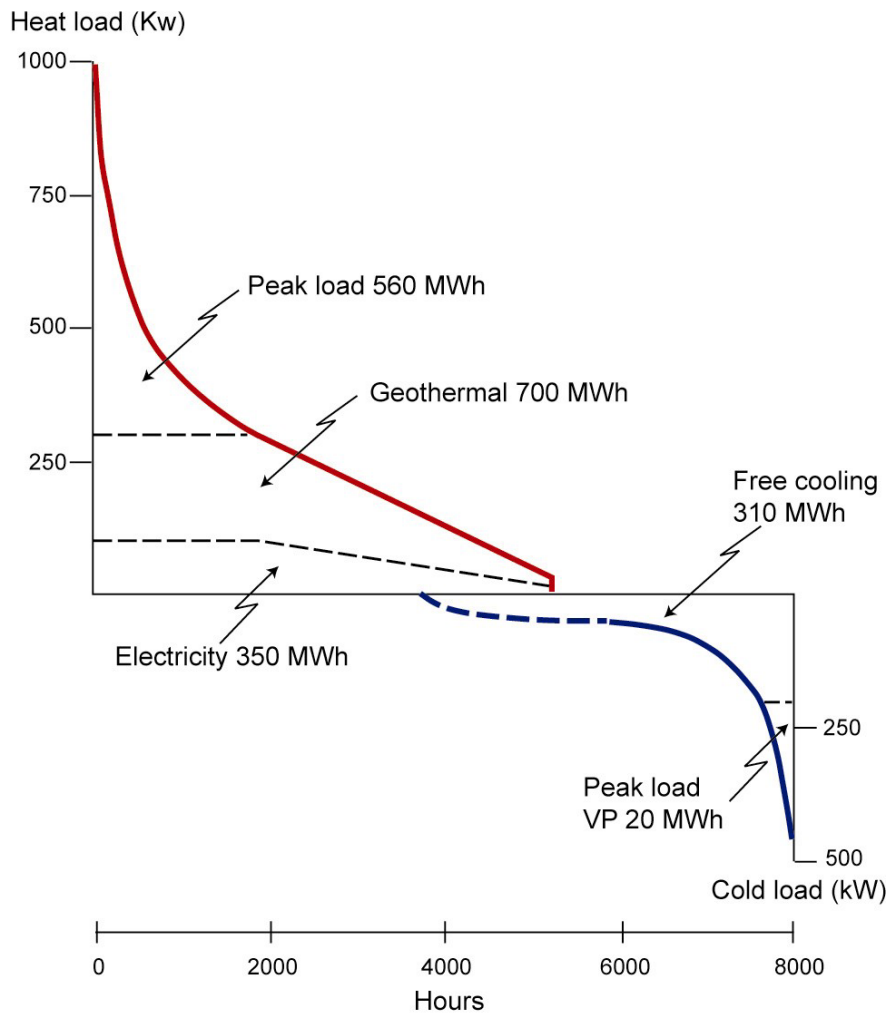
Přepokládaná hloubka vrtu	130 m
Neměnná teplota země	10,8 °C
Během testu nebylo zaznamenáno žádné ovlivnění způsobené pohybem spodní vody.	
Následující hodnoty jsou doporučeny pro účely návrhu	
Účinná vodivost země	2,2 W/m,K
Tepelný odpor vrtu	0,16 $K/(W/m)$

Neměnná teplota země a účinná vodivost země jsou průměrné hodnoty pro aktivní hloubku vrtu

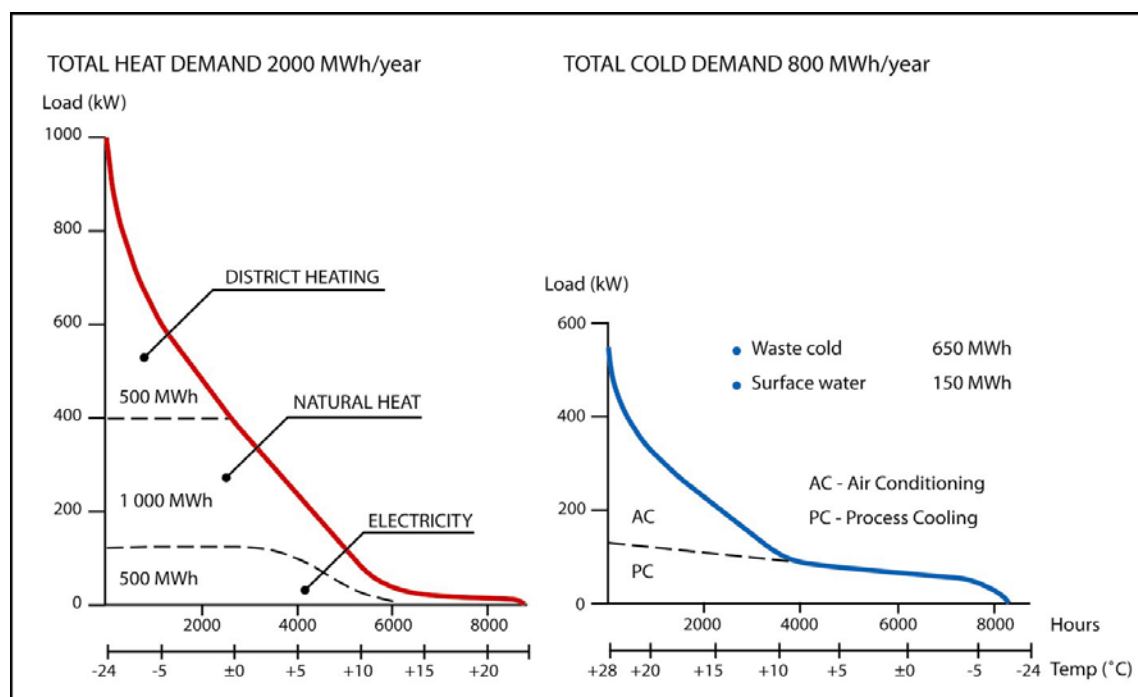
Tok roztoku přes tepelný výměník vrtu by neměl být menší než 0,5 l/s za maximálního provozu (Reynoldsovo číslo větší než 2500)

8.4 VŠB - Technická univerzita Ostrava - BTES DESIGN

K dokončení návrhu BTES na Vysoké škole Báňské v Ostravě mám následující návrhy. Nejkritičtější a nejistá část návrhu se týká nákladů na energii. BTES je často zvolena aby pokryla tyto náklady. Diagram trvání by mohl vypadat takto:

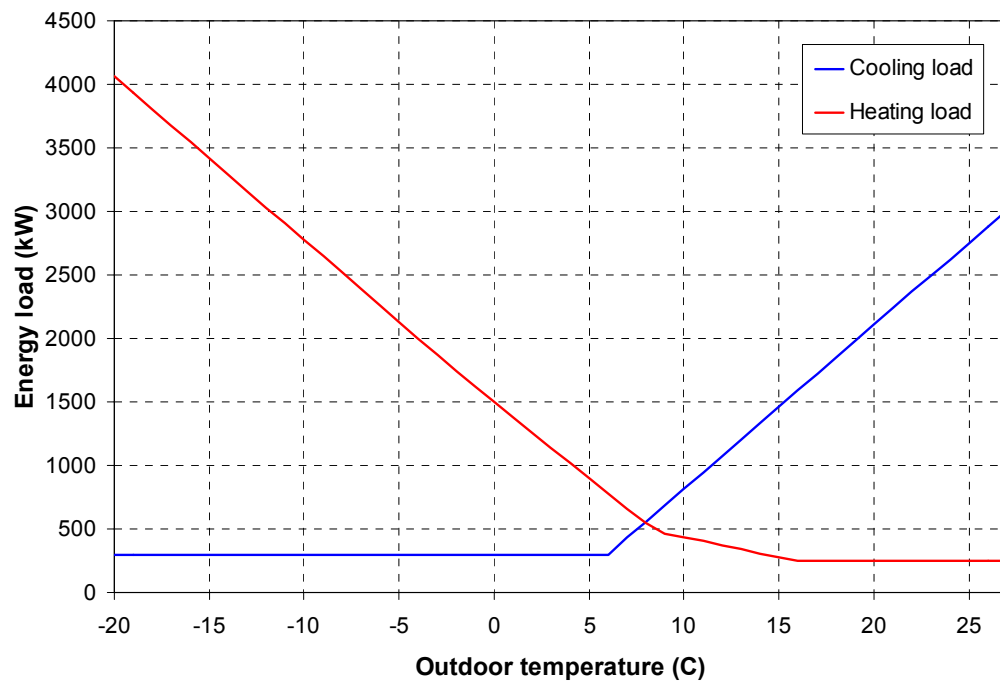


Další příklad s větším využitím podílu chlazení



Tento příklad ukazuje výhodnější situaci, kdy náklady na topení a chlazení jsou vyrovnanější. Během zimy je větší současně probíhající produkce užitečného tepla a chladu tepelným čerpadlem. Běžně se topný faktor (COP) tepelného čerpadla spojuje vyprodukované teplo se spotřebovanou elektřinou, v tomto případě je také zahrnut vyrobený chlad. COP pro tento provoz se stává velmi vysokým.

Samozřejmě je taky velmi důležité dobře odhadnout náklady na odběr energie. Pro podrobný návrh je vhodné odvozovat z krátkodobých intervalů, kterými jsou hodinové úseky. Tato data mohou být měřena (pro stávající budovy) nebo odhadována (pro novostavby). Jednoduchý způsob odhadu nákladů budovy je obálková metoda, která se používá celkem často. Je založena na nákladech pro ohřev a chlazení (přenos, ventilace, infiltrace, vnitřní zdroje) v závislosti na venkovní teplotě a často upřesňována zvláště pro noční, denní a víkendový provoz. V kombinaci s údaji o klimatických podmínkách v dané lokalitě získáme prognózu energetických potřeb budovy. Nevýhoda této metody je v tom, že nezahrnuje tepelnou setrvačnost budovy.



Zjednodušené průběh energetických potřeb.

Dalším krokem bude simulace energetických toků v budově (včetně tepelné setrvačnosti budovy) s dynamickým spojením do vrtu jako tepelného zásobníku, s použitím simulačního modelu, např. TRNSYS

8.5 THERMAL RESPONSE TESTS - ZÁVĚR



Vrt č.1, Ostrava



Vrt č.2, Ostrava

Byly provedeny dvě zkoušky teplotní odezvy na předpokládaném místě velkého vrtného tepelného energetického systému (BTES) na VŠ Báňské v Ostravě. Zkouška teplotní odezvy je prováděna dodávkou konstantního tepelného výkonu do vrtu po dobu minimálně 50h a současně je zaznamenávána teplotní odezva v obíhávajícím roztoku. Oba měřené vrty mají průměr 0,12m a aktivní hloubku 130m. Do vrtů byly zavedeny polyetylenové u-trubky (průměr 40mm, PN16).

Vrt 1 je vyplněn standardním bentonitem zatímco vrt 2 je zalit komerčně přístupnou směsí s lepší tepelnou vodivostí - STÚWATERM 2000Z.

Během první zkoušky ve 4 hodinové periodě pouze cirkuloval roztok, poté byl zapnut elektrokotel. Tato perioda sloužila k určení stálé teploty v aktivním vrtu. Stálá teplota země byla zjištěna 10,8 °C.

Nebyly zjištěny žádné narušení vlivem pohybu podzemních vod.

Zhodnocení teplotní odezvy je tvořeno numerickým modelem založeným na metodě konečného rozdílu kde je zvažován rozdíl mezi hodnotou tepelné dotace a časem odezvy.

Předpokládá se, že tepelný přenos v zemi je přímo závislý na tepelné vodivosti. V konečném výsledku je rozdíl mezi měřenými a vypočítanými teplotami roztoku eliminován během časové periody 15h od spuštění topného tělesa až do konce zkoušky, podle mezinárodních předpisů pro zkoušky teplotní odezvy.

Během procesu eliminace je účinná vodivost země a tepelný odpor mezi roztokem a stěnou vrtu považován za volné parametry. Nejlepší hodnoty mezi vypočítávanou a naměřenou hodnotou bylo dosaženo pro hodnoty účinné vodivosti země a tepelného odporu vrtu (viz následující tabulka)

	Tepelná vodivost (W/(m,K))	Tepelný odpor vrtu (K/(W/m))
vrt 1	2,17	0,164
vrt 2	2,12	0,122

Rozdíl v účinné tepelné vodivosti mezi dvěma testy je velmi malý. Rozdíl druhé hodnoty (tepelný odpor vrtu) je dán různými výplněmi vrtů.

Společné hodnoty tepelného odporu (K/(W/m)) ve vyplněných vrtech jsou shrnuty v tabulce. Rozdíl mezi bentonitem a speciální směsí (v tomto případě STÚWATERM 2000Z) je 0,04-0,05 K/(W/m).

Země	Typ injektážní směsi	Tepelný odpor vrtu
Germany, several tests	bentonite	0,10-0,13
Germany, several tests	STÚWATERM 2000Z	0,06-0,08
USA, several tests	bentonite	0,13-0,15
USA, several tests	STÚWATERM 2000Z	0,09-0,10

Naměřené hodnoty tepelného odporu vrtu jsou podobná hodnotám sledovaným pro u-trubky v bentonitem naplněných vrtech v USA. Změřený rozdíl v tepelném odporu vrtu mezi bentonitem a STÚWATERM 2000Z odpovídá předchozím zkušenostem.

Existují také analytické metody podle kterých můžeme zjistit tepelný odpor vrtu. Multipólová metoda vyvinutá Lundem dává přesné řešení dvourozměrného přenosu tepla v klidném stádiu ve vrtu. Rozmístění ramen u-trubek ve vrtu vychází z předpokladu, že prostor mezi trubkami je stejný jako prostor mezi trubkou a stěnou vrtu. Tento předpoklad má počátek v USA a bylo zjištěno že výsledkem je účinek který se shoduje s výpočty v terénu. Spojení přibližných hodnot týkajících se možného tepelného zkratu (vnitřní přenos tepla) mezi vstupním a výstupním tokem dosáhneme těchto hodnot tepelného odporu vrtu:

Injektážní směs	Tepelná vodivost	Shank spacing	Tepelný odpor vrtu
Bentonit	0,70	0,0533	0,172
Bentonit	0,75	0,0533	0,164
STÚWATERM 2000Z	1,6	0,0533	0,105
STÚWATERM 2000Z	1,8	0,0533	0,099

Měřený tepelný odpor vrtu pro bentonitem vyplněný vrt je v souladu s teoretickými hodnotami, zatímco naměřené hodnoty pro vrt plněný směsí STÚWATERM 2000Z jsou poněkud vyšší.

Následující hodnoty jsou doporučeny pro účely návrhu.

Účinná vodivost země	2,15 W/m,K
Tepelný odpor vrtu (bentonit)	0,16 K/(W/m)
Tepelný odpor vrtu (STÚWATERM 2000Z)	0,12 K/(W/m)

Stálá teplota a účinná vodivost země jsou průměrnými hodnotami z vrtu. Proudění roztoku tepelným výměníkem vrtu by mělo být zvoleno tak aby bylo využito laminárního toku během špičkové výkonové zátěže.

9. Odborný odhad celkové metráže vrtů pro vytápění auly a CIT VŠB-TU Ostrava pomocí tepelných čerpadel

Odborný odhad vychází z:

- a) energetického auditu „Aula a CIT VŠB - TU Ostrava - Poruba“ (Belica P. et al., 2004),
- b) projekt vodního díla pro územní rozhodnutí a stavební povolení „VŠB – Technická univerzita Ostrava, aula + CIT vrty pro tepelná čerpadla na parc. č. 1738/30 a 1738/37, k.ú. Poruba“ (Grmela, A., et al., 2005),
- c) výsledků Thermal Response Testů realizovaných ve dvou zkušebních vrtech na lokalitě stavby auly + CIT VŠB-TU Ostrava (viz kapitola 10)
- d) znalosti geologických poměrů z realizace dvou zkušebních vrtech o hloubce 130m na lokalitě stavby v březnu 2005 (viz Odstavec 2.1)
- e) orientačního výpočtu metráže vrtů pomocí software EED 2.0,
- f) analogického případu: vytápění městské víceúčelové haly v Opavě tepelnými čerpadly,
- g) zahraniční zkušenosti v obdobných geologických podmínkách (Německo),

Základní vstupní údaje byly převzaty z energetického auditu stavby auly a CIT VŠB-TU Ostrava (Belica, P., et al., 2004) – viz **Varianta 2**:

- topný výkon tepelných čerpadel:	650 kW
- očekávaný chladicí výkon tepelných čerpadel:	325 kW
- tepelná energie vyrobená tepelnými čerpadly za rok:	1 352 MWh

9.1 Odborný odhad na základě analogického případu - vytápění městské víceúčelové haly v Opavě tepelnými čerpadly

Městská víceúčelová hala je vytápěna a částečně klimatizována tepelnými čerpadly o celkovém topném výkonu 455 kW pomocí 81 vrtů o hloubce 100m (celková metráž vrtů činí 8 100m). Hala je vytápěna od října 2003 – tzn. 2 topné sezóny. Řídicí elektronická jednotka také nepřetržitě monitoruje teploty nemrznoucí směsi na vstupu z vrtů do tepelných čerpadel – během 2 topných sezón tato teplota až na vyjimečné případy neklesá pod 0⁰C a pokud k tomu dojde, tak jen krátkodobě a maximálně na hodnotu –0,5⁰C. Nedochozí rovněž k poklesu této teploty v průběhu času, což by svědčilo o nadměrném vychlazování horninového masívu tepelnými čerpadly. Dalším faktem je, že během 2 topných sezón nebylo nutné startovat bivalentní tepelný zdroj – plynový kotel. Z toho vyplývá, že metráž vrtů v daných geologických podmínkách byla správně nadimenzována.

Porovnání geologických podmínek:

Opava - městská víceúčelová hala

0 – cca 4m: antropogenní navážka
cca 4 – cca 15m: kvartér – zvodnělé štěrkopísky
cca 15 – 100m: miocén – tuhé jíly s vložkami písků – zvodnělé

VŠB-TU Ostrava, aula+CIT

0 – cca 14m: kvartér – jíly, střídání písků a štěrků, jílovité písky – bez zvodnění

cca 14 – 62, resp. 83m: miocén – tuhé jíly
62, resp. 83m – 130m: spodní karbon – jílovce, prachovce s vložkami pískovců

Při srovnání obou lokalit vyplývá, že:

- na lokalitě Opava se vyskytovaly přítoky podzemní vody v kvartérních štěrkopiscích a u mnoha vrtů v pískových vložkách miocénu
- na lokalitě Ostrava – Poruba se přítok podzemní vody vyskytl jen na jednom ze dvou zkušebních vrtů, a to v hloubce cca 105m, jinak byly oba vrty bez zvodnění
- na lokalitě Ostrava – Poruba byly navíc zastiženy skalní horniny spodního karbonu – jejich reliéf asi bude hloubkově kolísat (zkušební vrty vzdáleny od sebe cca 150m a přitom rozdíl v hloubce reliéfu karbonu činí cca 20m)

Z technického hlediska lze orientačně stanovit tepelný zisk z jednoho hloubkového metru vrtu. Např. na lokalitě Opava se bude jednat o podíl celkového topného výkonu (tj. 455 kW) a celkové metráže vrtů (tj. 8 100m). Tepelný zisk z jednoho metru vrtu takto orientačně určený činí cca 56 W/m. Na lokalitě Ostrava – Poruba lze konzervativně předpokládat horší tepelný zisk z důvodu nižších přítoků podzemních vod. Na základě německých zkušeností s obdobnými geologickými podmínkami („suché“ jíly + skalní horniny) a z nutnosti zabránit možnému pozvolnému dlouhodobému vychlazování horninového masívu velkým množstvím vrtů napojených na tepelná čerpadla doporučujeme uvažovat na lokalitě Ostrava – Poruba tepelný zisk na úrovni cca 45 W/m. Tato orientační hodnota znamená, že pro požadovaný celkový topný výkon tepelných čerpadel bude potřeba **cca 14 500m vrtů – tj. 112 vrtů o hloubce 130m.**

Dlouhodobému vychlazování horninového masívu bude rovněž zabráněno klimatizací objektu auly + CIT - tzn., že v letním období bude přebytečné teplo z objektu uskladňováno do vrtů, ze kterých bude naopak využíváno relativního chladu horninového masívu (teplota horninového masívu naměřená Thermal Response Testem je 10,8°C).

9.2 Orientační výpočet metráže vrtů pomocí software EED 2.0

Na lokalitě Ostrava-Poruba byl proveden Thermal Response Test - viz **Odstavec 10 výše** - za účelem zjištění fyzikálních vlastností horninového masívu ve dvou zkušebních vrtech vystrojeným PE-kolektorem a injektážní směsí. Tyto parametry představují reálné vstupní údaje pro výpočet pomocí software EED 2.0. Jedná se o následující parametry:

- tepelná vodivost horninového masívu $\lambda = 2,15$ W/mK
- tepelný odpor vrtu R_b pro 2 varianty vystrojení zkušebních vrtů:
 - 1) injektážní směs „klasická“ (voda+bentonit+cement)..... 0,16 K/(W/m)
 - 2) injektážní směs doplněná křemitým pískem..... 0,12 K/(W/m)

Test byl vyhodnocen doc. G. Hellströmem z Lund University (Švédsko), který je uznávaným světovým odborníkem v této problematice.

Dalšími vstupními parametry použitými ve výpočtu pomocí EED 2.0 jsou dle energetického auditu, **Varianta 2:**

- projektovaný topný výkon tepelných čerpadel: 650 kW
- tepelná energie vyrobená tepelnými čerpadly za rok: 1 352 MWh
- průměrná měsíční teplota vzduchu pro rok 2002 8,45 °C

Dále byl z firemního letáku převzat údaj pro litráž oběhového čerpadla na primární straně tepelného čerpadla: $Q = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Na základě těchto parametrů byl proveden orientační výpočet celkové metráže vrtů pomocí software EED 2.0:

a) Výpočet pro injektážní směs voda+bentonit+cement

EED Version 2.0 (October 15, 2000), license for JIRI RYSKA, OKD, DPB
P. Eskilson, G. Hellstrom, J. Claesson, T. Blomberg, B. Sanner
Input file: C:\Documents and Settings\jiri\Documents\EED\PROJECTS\SVB_Ostrava_50B.dat
This output file: SVB_OSTRAVA_50B.OUT Date: 29.8.2005 Time: 11:32:14

Poznámka:

- výpočet proveden pro skupinu 24 vrtů, které pomocí tepelného čerpadla vyrobí 270,4 MWh/rok
- pro vystrojení zkušebních vrtů byla použita "klasická" injektážní směs (voda+bentonit+cement).

DESIGN DATA

GROUND
Ground thermal conductivity 2.150 W/m,K
Ground heat capacity 2160000 J/m³,K
Ground surface temperature 8.45 °C
Geothermal heat flux 0.0700 W/m²

BOREHOLE

Configuration: 24 : 4 x 6, rectangle
- g-function No. 264
Borehole depth 124.29 m
Borehole spacing 10.00 m
Borehole installation SINGLE-U
Borehole diameter 0.120 m
U-pipe diameter 0.040 m
U-pipe thickness 0.0037 m
U-pipe thermal conductivity 0.420 W/m,K
U-pipe shank spacing 0.0700 m
Filling thermal conductivity 0.600 W/m,K
Contact resistance pipe/filling 0.0000 K/(W/m)

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. fluid/ground 0.1600 K/(W/m)
Borehole therm. res. internal 0.5000 K/(W/m)
Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity 0.440 W/m,K
Specific heat capacity 4250 J/kg,K
Density 960 kg/m³
Viscosity 0.007600 kg/m,s
Freezing point -15.0 °C
Flow rate per borehole 0.000280 m³/s

BASE LOAD

Annual heating load 270.40 MWh
Annual cooling load 0.00 MWh

Seasonal performance factor (heating) 2.12
Seasonal performance factor (cooling) 2.00

Monthly energy profile

Month	Heat load	Cool load
JAN	0.1400	0.0000
FEB	0.1300	0.0000
MAR	0.1200	0.0000
APR	0.0850	0.0000
MAY	0.0500	0.0000
JUN	0.0100	0.0000
JUL	0.0050	0.0000
AUG	0.0000	0.0000
SEP	0.0950	0.0000
OCT	0.1200	0.0000
NOV	0.1200	0.0000

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.47	1.48	-0.11	-1.58	-4.97
FEB	10.47	1.43	-0.17	-1.63	-5.00
MAR	10.47	1.76	0.16	-1.29	-4.65
APR	10.47	2.48	0.89	-0.56	-3.89
MAY	10.47	8.08	6.52	5.08	1.76
JUN	10.47	9.28	7.76	6.33	3.03
JUL	10.47	9.52	8.05	6.64	3.35
AUG	10.47	9.74	8.33	6.93	3.65
SEP	7.72	7.03	5.67	4.29	1.03
OCT	2.81	2.14	0.81	-0.55	-3.80
NOV	2.25	1.59	0.27	-1.08	-4.31
DEC	1.78	1.12	-0.19	-1.52	-4.74

PEAK HEAT LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature -5.00 °C at end of FEB
Maximum mean fluid temperature 3.65 °C at end of AUG

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.47	5.80	4.21	2.74	-0.65
FEB	10.47	5.95	4.36	2.89	-0.48
MAR	10.47	6.14	4.55	3.09	-0.26
APR	10.47	7.08	5.50	4.05	0.71
MAY	10.47	8.08	6.52	5.08	1.76
JUN	10.47	9.28	7.76	6.33	3.03
JUL	10.47	9.52	8.05	6.64	3.35
AUG	10.47	9.74	8.33	6.93	3.65
SEP	7.72	7.03	5.67	4.29	1.03
OCT	6.81	6.14	4.81	3.44	0.20
NOV	6.64	5.98	4.66	3.31	0.08
DEC	6.51	5.85	4.54	3.21	-0.01

PEAK COOL LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature -0.65 °C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 3.65 °C at end of AUG

***** END OF FILE *****

b) Výpočet pro injektážní směs s křemitým pískem

EED Version 2.0 (October 15, 2000), license for JIRI RYSKA, OKD, DPB
P. Eskilson, G. Hellstrom, J. Claesson, T. Blomberg, B. Sanner
Input file: C:\Documents and Settings\jiri\Documents\EED\PROJECTS\VSB_Ostrava_50.dat
This output file: VSB_OSTRAVA_50.OUT Date: 29.8.2005 Time: 11:27:15

Poznámka:

- výpočet proveden pro skupinu 24 vrtů, které pomocí tepelného čerpadla vyrobí 270,4 MWh/rok
- pro vystrojení zkušebních vrtů byla použita injektážní směs s křemitým pískem

DESIGN DATA

=====

GROUND

Ground thermal conductivity	2.150 W/m,K
Ground heat capacity	2160000 J/m ³ ,K
Ground surface temperature	8.45 °C
Geothermal heat flux	0.0700 W/m ₂

BOREHOLE

Configuration: 24 : 4 x 6, rectangle
- g-function No. 264
Borehole depth 116.24 m
Borehole spacing 10.00 m
Borehole installation SINGLE-U
Borehole diameter 0.120 m
U-pipe diameter 0.040 m
U-pipe thickness 0.0037 m
U-pipe thermal conductivity 0.420 W/m,K
U-pipe shank spacing 0.0700 m
Filling thermal conductivity 0.600 W/m,K
Contact resistance pipe/filling 0.0000 K/(W/m)

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. fluid/ground 0.1200 K/(W/m)
Borehole therm. res. internal 0.5000 K/(W/m)
Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity	0.440 W/m,K
Specific heat capacity	4250 J/kg,K
Density	960 kg/m ³
Viscosity	0.007600 kg/m,s
Freezing point	-15.0 °C
Flow rate per borehole	0.000280 m ³ /s

BASE LOAD

Annual heating load	270.40 MWh
Annual cooling load	0.00 MWh

Seasonal performance factor (heating)	2.12
Seasonal performance factor (cooling)	2.00

Monthly energy profile

Month	Heat load	Cool load	(MWh)
JAN	0.1400	0.0000	
FEB	0.1300	0.0000	
MAR	0.1200	0.0000	
APR	0.0850	0.0000	
MAY	0.0500	0.0000	
JUN	0.0100	0.0000	
JUL	0.0050	0.0000	
AUG	0.0000	0.0000	
SEP	0.0950	0.0000	
OCT	0.1200	0.0000	
NOV	0.1200	0.0000	
DEC	0.1200	0.0000	

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.34	1.75	0.03	-1.53	-5.00
FEB	10.34	1.71	0.00	-1.54	-4.99
MAR	10.34	2.06	0.39	-1.13	-4.57
APR	10.34	2.84	1.22	-0.29	-3.71
MAY	10.34	7.98	6.42	4.92	1.52
JUN	10.34	9.16	7.64	6.16	2.77
JUL	10.34	9.40	7.91	6.44	3.07
AUG	10.34	9.58	8.11	6.65	3.30
SEP	7.67	6.93	5.47	4.03	0.69
OCT	3.16	2.44	0.99	-0.44	-3.76
NOV	2.57	1.86	0.41	-0.99	-4.30
DEC	2.06	1.35	-0.09	-1.48	-4.77

PEAK HEAT LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature -5.00 °C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 3.30 °C at end of AUG

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.34	5.77	4.04	2.48	-0.99
FEB	10.34	5.91	4.20	2.66	-0.79
MAR	10.34	6.09	4.42	2.90	-0.54
APR	10.34	7.00	5.38	3.87	0.45
MAY	10.34	7.98	6.42	4.92	1.52
JUN	10.34	9.16	7.64	6.16	2.77
JUL	10.34	9.40	7.91	6.44	3.07
AUG	10.34	9.58	8.11	6.65	3.30
SEP	7.67	6.93	5.47	4.03	0.69
OCT	6.77	6.06	4.60	3.17	-0.15
NOV	6.60	5.89	4.44	3.03	-0.27
DEC	6.45	5.75	4.30	2.91	-0.38

PEAK COOL LOAD: YEAR 50

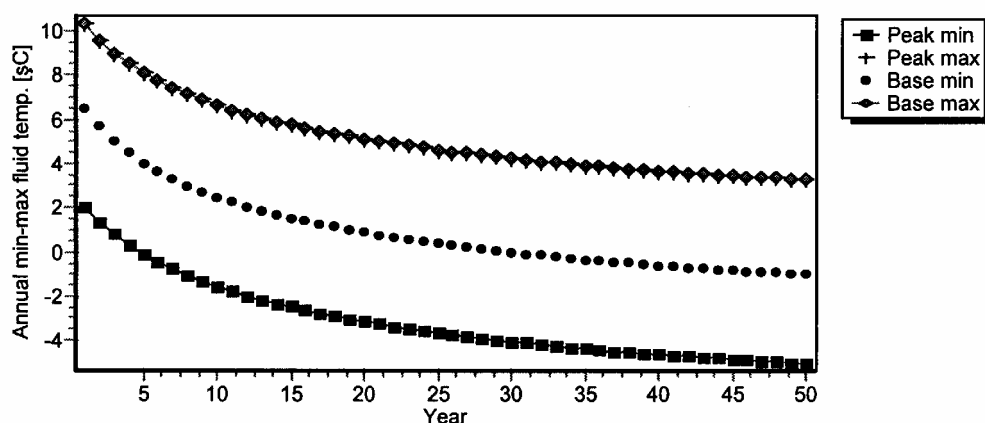
Minimum mean fluid temperature -0.99 °C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 3.30 °C at end of AUG

***** END OF FILE *****

Výsledky výpočtu jsou shrnuty do následující tabulky:

Vrty/typ inj. směsi	Inj. směs klasická	Inj. směs s křemitým pískem
hloubka vrtů	130m	130m
orientační celková metráž	cca 15 000m	cca 14 000m
počet vrtů	116	108

Orientační průběh teploty nemrznoucí směsi v kolektoru v závislosti na dlouhodobém chodu tepelného čerpadla je následující - viz **Obr. 30**.



Obr. 30. Průběh teploty nemrznoucí směsi v kolektoru v závislosti na dlouhodobém chodu tepelného čerpadla

Základním ukazatelem pro dimenzování hloubky vrtů je průběh křivky „Base min“. Z obrázku je zřejmé, že dlouhodobý pokles minimální teploty teplosnosného média v kolektoru a tedy i horninového masivu vlivem práce tepelných čerpadel se ustálí na úrovni cca 0°C. Tento teoretický závěr však nezohledňuje tzv. „dobíjení“ horninového masivu přebytečným teplem z klimatizace objektu v letním období. Přesto i tento výsledek ukazuje, že hloubka vrtů 130m by měla zajistit spolehlivé dlouhodobé vytápění objektu. Křivka „Peak min“ zobrazuje krátkodobé výkyvy vlivem např. extrémních poklesů venkovních teplot v kombinaci s požadavkem dodávky velkého množství tepelné energie.

Výše uvedený výpočet platí pro výše uvedené vstupní hodnoty parametrů. Výpočet je nutné chápat jako orientační z následujících důvodů:

- není zohledněno „dobíjení“ vrtů tepelnou energií odebranou z objektu při jeho klimatizaci (jedná se o tzv. pasivní chlazení objektu pomocí tepelných čerpadel): tímto „dobíjením“ vrtů bude zamezeno případnému dlouhodobému vychlazení horninového masivu
- spotřeba tepelné energie v objektu po jednotlivých měsících byla do software dosazena pouze orientačně bez hlubší analýzy
- v ČR se jedná zatím o první pokus takového výpočtu pro velký stavební objekt a z toho vyplývají malé zkušenosti autora s tímto software

Porovnáním odborného odhadu vycházejícího z analogického případu aplikace tepelných čerpadel a orientačního výpočtu pomocí software EED 2.0 je zřejmé, že shoda výsledků je poměrně dobrá. Pro další práci s tímto odhadem je doporučováno:

- v první fázi uvažovat s konzervativní orientační metráží 15 000m vrtů, tj. 116 vrtů o hloubce 130m,
- v další fázi zadat provedení upřesňujícího výpočtu doc. G. Hellströmovi z Lund University, který patří k předním světovým odborníkům v této problematice.

10. Měření teploty: měřicí, řídicí, vizualizační a diagnostické systémy:

Úvod do problematiky:

V současnosti lze pro měření teploty použít mechanické, elektrické odporové, termoelektrické, pyroelektrické a polovodičové senzory. Masový vývoj je patrný také v oblasti polovodičových senzorů s PN přechodem a tzv. „smart“ senzorů.

V technické praxi je teplota jedním z nejdůležitějších a nejčastěji se vyskytujících měřených parametrů ve většině technologických procesů. Je také jedna z významných termodynamických vlastností, které určují stav hmoty a objevuje se v mnoha fyzikálních zákonech. Dá se říct, že teplota je mírou kinetické energie pohybu molekul a atomů, přičemž molekuly na sebe navzájem narážejí a rychlost jejich pohybu se stále mění v čase. V pevném skupenství molekuly neuspořádaně kmitají kolem rovnovážné polohy, oproti tomu v tekutém skupenství je pohyb molekul neuspořádaný v celém objemu. Pokud na hmotu nepůsobí okolní prostředí, průměrná rychlost pohybu molekul je konstantní. Uvedená průměrná rychlost je závislá na teplotě a termodynamická teplota libovolného tělesa je přímo úměrná kinetické energii molekul neboli přímo úměrná jejich hmotnosti a kvadrátu rychlosti pohybu. Za nejnižší teplotu je zvolena absolutní teplotní nula (0 K), během níž ustává veškerý pohyb. Pro stanovení teploty se používají teplotní závislosti jiných fyzikálních veličin. Volí se takové fyzikální jevy, u nichž lze závislost veličiny matematicky vyjádřit teplotní stupnicí.

Počátek termodynamické stupnice je dán termodynamickou absolutní nulou. Základní jednotkou teploty v termodynamické stupnici je kelvin (K). Kelvin byl definován zvolením termodynamické teploty trojného bodu vody, tj. rovnovážného stavu tří skupenství vody (ledu, vody a syté páry) jako referenčního a dobře reprodukovatelného teplotního bodu na pevně stanovenou hodnotu $T = 273,16$ K. Jeden kelvin je $273,16$ díl termodynamické teploty trojného bodu vody.

Celsiova teplotní stupnice je odvozena od Kelvinovy termodynamické stupnice posunutím o teplotu $273,15$ K, což je hodnota o $0,01$ K nižší než termodynamická teplota trojného bodu vody. Jednotkou Celsiovy stupnice je stupeň Celsia ($^{\circ}\text{C}$). Celsiova teplota t je rovná rozdílu termodynamické teploty T a teploty $273,15$ K, tj.

$$t (^{\circ}\text{C}) = T - T_0 = T - 273,15 \text{ K} \quad 10.1$$

Teplota je podle definice stavová veličina, která určuje stav termodynamické rovnováhy, tj. stav, kdy v izolované soustavě těles od okolního prostředí neprobíhají žádné makroskopické změny a všechny fyzikální veličiny, jimiž je stav soustavy popsán, nezávisí na čase. Stav termodynamické rovnováhy bývá charakterizován termodynamickou teplotou, která musí být stejná pro všechny části izolované soustavy. Teplota patří k jedné z mála veličin, které se nedají měřit přímo, ale pouze prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Měření teploty je proto měření nepřímé. K vlastnímu měření teploty je možno použít metod dotykových a bezdotykových.

Dotykové teploměry lze podle použitého fyzikálního principu rozdělit na:

- a) dilatační - využívají teplotní roztažnost tuhých látek, kapalin a plynů
- b) parní - využívají teplotní závislosti tlaku syté páry teploměrové kapaliny
- c) odporové - využívají teplotní závislosti elektrického odporu vodičů a polovodičů
- d) termoelektrické - využívají teplotní závislosti termoelektrického napětí termoelektrického článku

- e) speciální – využívají změn vybraných fyzikálních vlastností tuhých látek a kapalin s teplotou (např. měknutí, tavení, index lomu apod.)

Bezdotykové teploměry lze rozdělit podle využitého měřicího principu na přímoměřicí a zobrazovací. Do přímoměřicích patří pyrometry a do zobrazovacích fototermometrie a termovize.

Pyrometry lze rozdělit podle různých hledisek, jako je spektrální oblast využitého záření, vlnová délka záření, způsob měření, optický systém apod. Pro praxi je nejvhodnější rozdělení podle spektrální oblasti využitého záření, a to:

- a) jasové (spektrální, monochromatické) – využívají tepelného záření ve velmi úzkém vlnovém rozsahu, který odpovídá jedné vlnové délce, zpravidla $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$
- b) pásmové – využívají tepelné záření v určitém pásmu vlnových délek, který je dán absorpčními vlastnostmi detektoru záření
- c) barvové – využívají tepelné záření ve dvou úzkých vlnových rozsazích, zpravidla při $\lambda_1 = 0,55 \mu\text{m}$ a $\lambda_2 = 0,65 \mu\text{m}$ (zelená a červená barva)
- d) radiační (na celkové záření) – využívají tepelného záření ve velké oblasti vlnových délek (teoreticky v celém rozsahu), který je omezen pouze absorpční schopností detektoru a propustností optiky pyrometru

Zobrazovací metody využívají tepelného záření pouze v infračervené oblasti a používají se k měření povrchových teplot. Podle funkčního principu se jedná o fotometrii a termovizi.

Termovize využívá ke snímání povrchových teplot objektů speciální snímací kamery a ke zobrazení speciálního monitoru s černobílou nebo barevnou obrazovkou.

Fototermometrie využívá klasického fotoaparátu s velkou světelností a fotomateriálem sensibilizovaným na infračervené záření.

Teplotní rozsahy vybraných dotykových a bezdotykových teploměrů jsou uvedeny v následující tabulce :

Dotykové teploměry:	Měřicí rozsah (°C)
tyčové	-30 až 1000
bimetalické	-30 až 350
skleněné s organickou náplní	-200 až 100
skleněné s kovovou náplní	-30 až 630 (1000)
tlakové kapalinové	0 až 850
tlakové parní	-50 až 200
tlakové plynové	-260 až 800
odporové platinové	-270 až 850 (1000)
odporové niklové	0 až 180
termoelektrické T (Cu-CuNi)	-200 až 400
termoelektrické J (Fe-CuNi)	-200 až 760
termoelektrické E (NiCr-CuNi)	-100 až 700 (900)
termoelektrické K (NiCr-NiAl)	-200 až 1000 (1300)
termoelektrické S (PtRh10-Pt)	0 až 1300 (1600)
termoelektrické R (PtRh13-Pt)	0 až 1300 (1600)
termoelektrické B (PtRh36-PtRh6)	300 až 1600 (1800)
termoelektrické A (WRe5-WRe20)	0 až 2500
termoelektrické N (nicrosil-nisil)	-270 až 1370
se světlovody	-11 až 200
s kapalnými krystaly	-20 až 250
iontové	200 až 720
krystalové	-80 až 250
barevné nátěry a tužky	40 až 1400
tavná tělíska a tablety	100 až 1650
keramické žároměrky	600 až 2000
Bezdotykové teploměry:	
pyrometry jasové	650 až 3500
pyrometry pásmové	300 až 2000
pyrometry barvové	700 až 2000
pyrometry radiační	50 až 2300
fototermometrie	-50 až 650
termovize	-50 až 1000 (1500)

Měřicí rozsahy vybraných typů teploměrů

Dilatační teploměry:

Funkčním principem dilatačních teploměrů je využití teplotní roztažnosti látek všech skupenství. Podle tohoto principu a podle konstrukce lze dilatační teploměry rozdělit na:

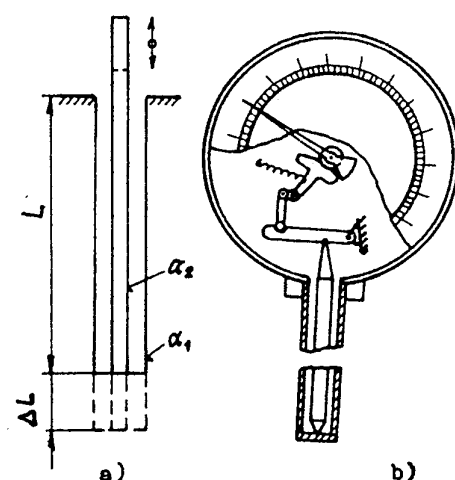
- tyčové
- bimetalické
- skleněné
- tlakové kapalinové
- tlakové plynové

Tyčové teploměry:

Tyčové dilatační teploměry využívají k měření teploty rozdílné teplotní délkové roztažnosti dvou konstrukčně oddělených součástí – trubice a vnitřní tyče. Princip činnosti lze vysvětlit podle obr. 32a. Na dno trubice o délce L z materiálu o velkém teplotním součiniteli délkové roztažnosti α_1 je přitlačována tyč z materiálu o malém teplotním součiniteli délkové roztažnosti α_2 . Zahřátím této soustavy o Δt se trubice prodlouží a volný konec tyče se v otevřeném konci trubice posune o ΔL podle vztahu

$$\Delta L = L \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \Delta t \quad 10.2$$

Konstrukční provedení tyčového teploměru je na obr. 32b. Vzájemný pohyb tyče v trubici se přenáší na ukazatel přístroje mechanickým převodem. Vzhledem k velmi malému pohybu musí být mechanický převod velmi precizní.



Obr. 31. Tyčový teploměr: a) měřicí princip, b) provedení

Výhody tyčových teploměrů:

- velký teplotní rozsah – až 1000 °C
- malé pořizovací náklady a nepatrná údržba a obsluha
- robustní konstrukce

Nevýhody tyčových teploměrů:

- menší přesnost – do 2%
- delší odezva při změně teploty

Bimetalické teploměry:

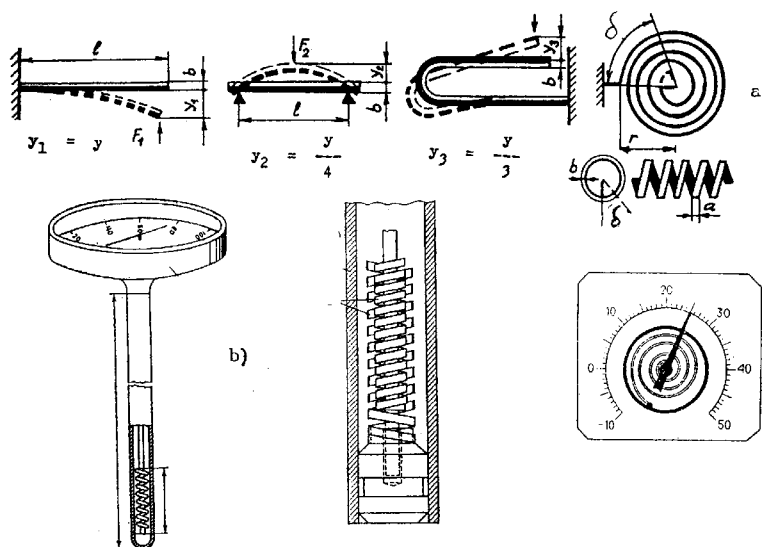
Bimetalické teploměry využívají deformace dvou kovových pásků z rozdílných materiálů o odlišných hodnotách teplotní délkové roztažnosti. Tyto pásky jsou po celé délce spolu pevně spojeny, např. pájením apod. Délkou pásků a jejich vhodným tvarováním lze docílit značné výsledné deformace. Základní tvary pásků jsou na obr. 33a. a provedení teploměrů na obr 33b.

Průhyb přímého pásku (vetknutého) o délce L a tloušťce b při oteplení o Δt lze určit ze vztahu

$$y = \frac{\Delta \alpha \cdot L^2 \cdot \Delta t}{b} \quad 10.3$$

kde $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ - relativní teplotní součinitel délkové roztažnosti materiálů pásků.
Natočení pásku stočeného do spirály nebo šroubovice o úhel δ je dáno vztahem

$$\delta = \frac{360 \cdot \Delta\alpha \cdot L \cdot \Delta t}{\pi \cdot b} \quad [^\circ] \quad 10.4$$



Obr. 32. Bimetalický teploměr: a) základní typy pásků, b) provedení teploměrů

Výhody bimetalických teploměrů:

- malé pořizovací náklady včetně údržby a obsluhy
- robustní konstrukce

Nevýhody bimetalických teploměrů:

- menší rozsah teplot – pouze do 400 °C
- menší přesnost – do 1,5 %
- pomalá odezva na změnu teploty

Skleněné teploměry:

Skleněné teploměry využívají ke své funkci relativní objemové roztažnosti teploměrové kapaliny (náplň teploměru) ve skle. Přírůstek objemu kapaliny se stoupající teplotou se čte přímo v kapiláře teploměru, která vychází z teploměrové nádoby. Prostor v kapiláře je evakuován, pouze u vysokoteplotních rtuťových teploměrů je kapilára nad rtutí vyplněna tlakovým inertním plynem, nejčastěji dusíkem, aby se zvýšila teplota varu rtuti a tím i měřicí rozsah.

Jako teploměrných kapalin se u skleněných teploměrů používá:

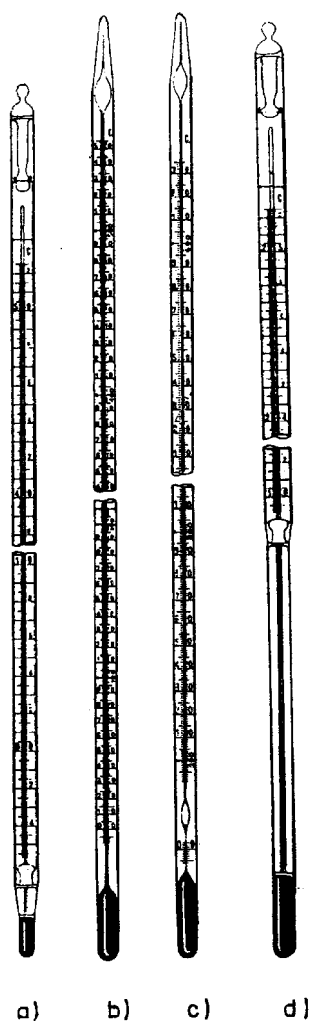
- a) pentanová směs: rozsah od -200 do +30 DC; používá se k přesnému měření velmi nízkých teplot
- b) rtuť: rozsah od -38 do 350 DC (v kapiláře vakuum) a do 630°C (v kapiláře tlakový dusík); používá se k přesnému měření středních teplot
- c) toluol: rozsah od -90 do 100 DC; používá se k méně náročným měření nízkých teplot
- d) etylalkohol: rozsah od -110 do +70 DC; používá se k méně náročným měření

venkovních a vnitřních teplot

Skleněné teploměry jsou jednoduché, spolehlivé, levné a přesné. Nevýhodou je jejich křehkost, omezená možnost dálkového přenosu a někdy špatná čitelnost.

Nejvíce jsou rozšířeny skleněné teploměry rtuťové; jejich výhodou je značná tepelná vodivost rtuti, nesmáčivost stěn, dobrá čitelnost a možnost použití pro signalizaci a regulaci teploty. Nevýhodou je velmi malá teplotní objemová roztažnost rtuti.

Podle konstrukce lze skleněné teploměry rozdělit na laboratorní, technické a speciální. Laboratorní skleněné teploměry ukazují správně měřenou teplotu pouze tehdy, když jestloupec teploměrové kapaliny v kapiláře v měřeném prostoru. Tyto teploměry se také ověřují tak, že celý sloupec teploměrové kapaliny je ponořen v měřeném prostoru. Vyrábějí se obalové (obr. 33a) a tyčinkové (obr. 33b).



Obr. 33. Skleněné teploměry: a) obalový, b) tyčinkový, c) s potlačeným rozsahem, d) stonkový

Technické skleněné teploměry jsou provozní teploměry a jsou odlišné konstrukce (obr. 33d) než laboratorní teploměry. Technické teploměry mají stonek (odtud název "stonkové"), který je celý ponořen v měřeném prostředí. Stupnice teploměru je vždy mimo měřené prostředí. Délka stonku tak určuje hloubku ponoru. Protože sloupec teploměrové kapaliny v kapiláře v oblasti stupnice má jinou teplotu než měřené prostředí, je tento vliv zahrnut do kalibrace a není třeba provádět opravu na vyčnívající sloupec.

Speciální skleněné teploměry jsou obvykle jednoúčelové. Jedná se např. o teploměry kalorimetrické, teploměry k určování tepelně fyzikálních vlastností látek (bod vzplanutí apod.), teploměry maximální, maximominimální, minimální apod.

Diferenční skleněné teploměry (Beckmannovy) tvoří samostatnou skupinu. Používají se k velmi přesnému měření malých teplotních změn ve velkém rozsahu teplot. Vyrábějí se v délkách 500 až 600 mm, průměr stonku 11 mm, délka stonku 190 mm, délka stupnice 300 mm, kalibrace je provedena s plně ponořeným stonkem.

Odporové teploměry:

Odporové snímače teploty využívají vlastnosti kovů a polovodičů, u kterých se elektrický odpor mění s teplotou. U průmyslových snímačů teploty se používají zejména měděné, niklové a platinové vodiče. Platinové vodiče vykazují nejvyšší stabilitu a přesnost, proto jsou dnes nejvíce používány.

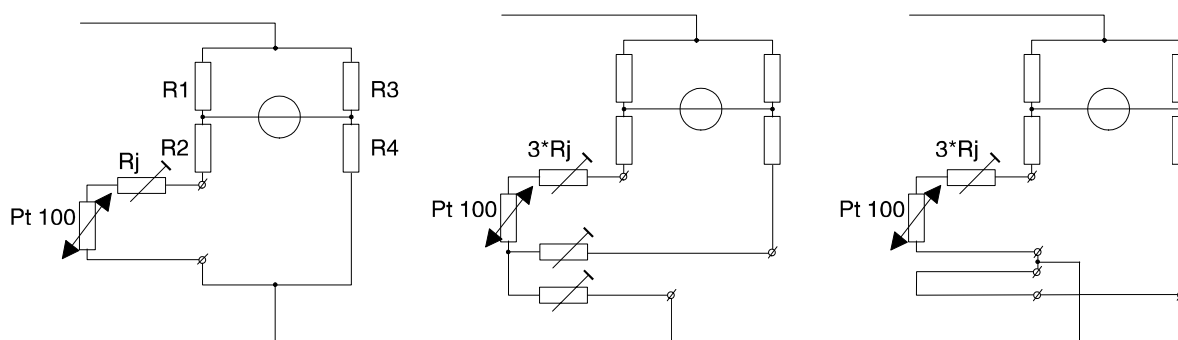
Poměr hodnoty odporu při 100°C a při 0°C se nazývá ODPOROVÝ POMĚR. Tento poměr současně vyjadřuje jakost odporu odporového čidla (platina 1,385).

STABILITA MĚŘÍCIHO ODPORU vyjadřuje dovolené kolísání hodnoty základního odporu při změně teploty. Udává, o kolik se změní odpor, když jej vystavíme maximální teplotě, pro kterou má být použit, a pak změříme, o kolik se změnil základní odpor při 0°C. Odchylku pak označujeme jako NESTABILITA měřícího odporu. Základní odpor je hodnota odporu při 0°C.

Důležitým parametrem odporových snímačů teplot je OTŘESUVZDORNOST. Je to odolnost snímače vůči mechanickému chvění, které by mohlo mít za následek mechanické poškození měřícího odporu a tím by vneslo do měření nepřesnost. Otřesuvzdornost se zkouší přímočarým kmitavým pohybem se sinusovým průběhem. Specifikuje se buď amplitudou a rozsahem frekvencí anebo násobkem ($g=9,81m.s^{-2}$) a rozsahem frekvencí. Vztah mezi zrychlením a , frekvencí f a amplitudou A je dán vzorcem :

$$a = \frac{A \cdot f^2}{25,3} \quad [m.s^{-2}, mm, Hz] \quad 10.5$$

U měřících odporů se dále udává maximální měřící proud, aby nedocházelo k vlastnímu ohřátí měřícího odporu v závislosti na tomto měřícím proudu. Toto ohřátí by mělo za následek zanesení chyby do měření.



Obr.34. Příklady zapojení měřícího odporu

a) Dvou vodičové zapojení

b) Třívodičové zapojení

c) Čtyřvodičové zapojení

Dosud nejrozšířenějším způsobem měření teploty odporovými snímači je měření změn hodnot měřícího odporu jeho zapojením do odporového (Wheatsonova) můstku. Měřící

odpor je zapojen do jedné větve můstku, změna teploty způsobí změnu měřicího odporu, tím dojde k rozvážení můstku. To je indikováno měřícím přístrojem (M) zapojeným v úhlopříčce. Hodnoty odporů jsou voleny tak, aby při minimální hodnotě rozsahu byl můstek vyvážen - ručička měřicího přístroje má nulovou výchylku, při maximálním rozsahu je proud do můstku nastaven tak, aby ručka ukazovala maximální hodnotu. Pro rovnováhu Wheatsonova můstku platí:

$$\frac{R_1}{R_p} = \frac{R_4}{R_3} \quad 10.6$$

kde:

$$R_p = R_j + Pt_{100} + R_2 \text{ (viz. obr. 35a)}$$

Odpor vedení mezi přístrojem a odporovým snímačem se vlivem změny teploty okolí mění a způsobuje chybu měření, neboť je zapojen spolu s měřícím odporem ve stejné větvi můstku. Proto se tohoto zapojení využívá pro kratší vzdálenosti mezi měřícím místem a vyhodnocovacím přístrojem a pro větší rozsahy teplot, aby relativní chyba byla v poměru k velikosti rozsahu menší.

Vliv změn odporu vedení na přesnost měření je prakticky odstraněn třívodičovým zapojením odporového snímače (viz.obr. 34b). U tohoto zapojení je snímač teploty a jeden vodič s vyrovnávacím odporem R_j zapojen do jedné větve odporového můstku a druhý vodič s vyrovnávacím odporem R_j do druhé větve. Třetí vodič je v napájecí větvi a napájecí bod je posunut až ke snímači teploty. Vliv okolní teploty na vedení je eliminován, protože přírůstky odporu působí v sousedních větvích a tím se navzájem ruší.

Přesnost měření teploty odporovými snímači:

Na přesnost měření teploty snímačem má obecně vliv více činitelů a chyby jimi způsobené můžeme zařadit do tří hlavních skupin :

- a) Chyby způsobené umístěním snímače a tepelnými vlastnostmi prostředí, jímky, armatury, apod.
- b) Chyby způsobené dynamickými vlastnostmi samotného snímače.
- c) Chyby jednotlivých členů elektrického obvodu, které mají vliv na výslednou chybu měření teploty.

Hlavním předpokladem správného měření teploty je vhodné umístění snímačů teploty, aby byl zajištěn správný přestup tepla a dokonalý styk s měřeným prostředím. Přesto se mohou vyskytnout chyby způsobené:

1. změnou odporu vedení vlivem teploty
2. základní chyba vyhodnocovacího přístroje
3. nesprávným vyrovnáním vedení
4. měřícím odporem jako odchylkou od cejchovní řady
5. odchylkou kompenzačního vedení od cejchovní řady
6. termočlánkem jako odchylkou od normalizované cejchovní řady
7. odchylkou korekčního napětí
8. dalšími ovlivňovacími veličinami, např. okolní teplotou, napájecím napětím, apod. a jejich vlivem na přístroje.

Změna odporu vedení, např. vlivem teploty se projevuje jako chyba náhodná. Vliv chyby lze odhadnout podle uvedeného vzorce, který uvádí velikost chyby v %, jak se projeví na stupnici přístroje. Jde o poměrnou chybu vztažnou k rozsahu.

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta R}{R_{ic}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{R_{ic}}} \cdot 100 \quad (\%, \Omega, \Omega) \quad 10.7$$

kde :

$\Delta\alpha$ přídatná chyba (%)

ΔR změna (či odchylka odporu vedení)

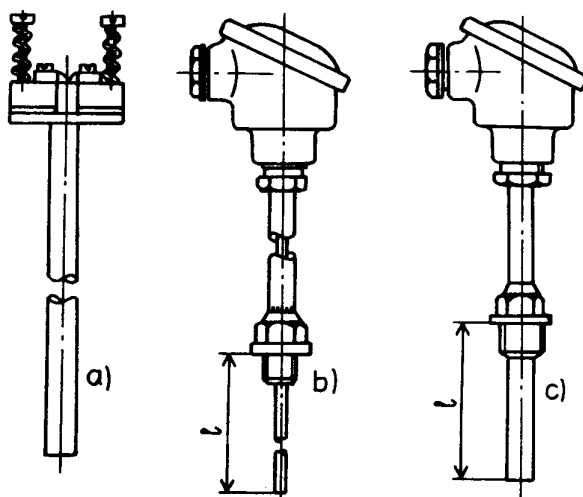
R_{ic} celkový vnitřní odpor (t.j. odpor vedení a vnitřní odpor měřícího přístroje)

Konstrukce odporových teploměrů:

Odporový teploměr se skládá z odporového snímače teploty, spojovacího měděného vedení, napájecího zdroje a měřícího přístroje ukazovacího nebo zapisovacího.

Odporový snímač teploty je konstrukční celek, který obsahuje měřicí vložku. V měřicí vložce je měřicí odpor spojený vnitřním vedením se svorkovnicí. Pro teploty do 500 °C je vnitřní vedení kantalové, pro vyšší teploty je stříbrné. Měřicí vložka podle obr. 36a se umísťuje do ochranné armatury, se kterou tvoří snímač do jímky (obr. 35b), popř. snímač jímkový (obr. 35c). Odporové snímače teploty se vyrábějí s ponorem 160, 250 a 400 mm.

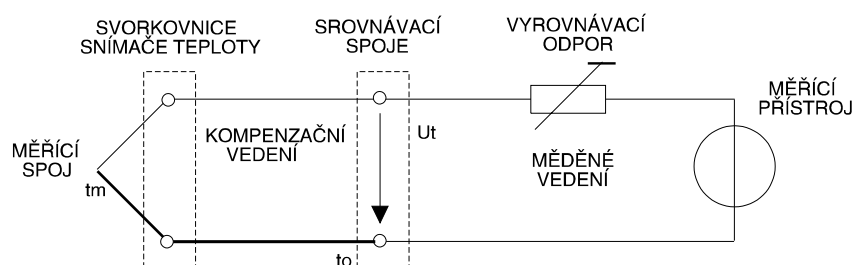
Plášťové odporové snímače teploty jsou ve formě dvou vodičů navzájem izolovaných keramickým lisovaným práškem MgO nebo SiO₂ ve stonkové trubici, kde je rovněž umístěn měřicí odpor. Stonek lze libovolně tvarovat ohýbáním s minimálním poloměrem oblouku 25 mm. Vyrábějí se pro rozsah od -100 do 250 °C. Stabilita plášťových snímačů je lepší než 0,25 % za rok a reprodukovatelnost lepší než 0,1 °C po deseti cyklech v celém teplotním rozsahu. Další výhodou je vysoká ořesuvzdornost proti nárazům i vibracím. Snímače lze používat i bez ochranných jímek až do přetlaku prostředí 4 MPa



Obr.35. Snímače teploty: a) měřicí vložka, b) snímač do jímky, c) snímač jímkový

Termoelektrické snímače teploty:

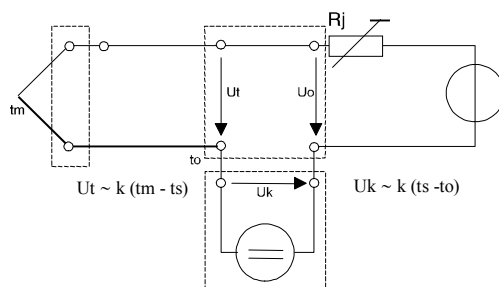
Měření teploty termočlánky je založeno na jevu, že v obvodu složeném ze dvou na konci spojených kovů z různých materiálů vzniká elektromotorická síla. Jestliže spojené konce, které se vkládají do měřené teploty, nazýváme měřicí spoj, volné konce, na kterých měříme termoelektrické napětí, se nazývají srovnávací spoje. Tyto snímače teploty jsou určeny k měření vysokých teplot $-600 \dots +2\,800^{\circ}\text{C}$.



Obr.36. Schéma obvodu termoelektrického článku

Na obr.37. jsou vyznačena jednotlivá funkční místa obvodu. Termoelektrické napětí U_t , jehož hodnota je úměrná rozdílu teploty t_m v místě měřicího spoje (teplý konec) a teploty t_o v místě srovnávacích spojů (studený konec) se přivádí kompenzačním vedením a měděným vedením na měřicí přístroj. Aby bylo možno každé hodnotě termoelektrického napětí přiřadit určitou teplotu, je třeba udržovat srovnávací spoje na známé a konstantní teplotě, tzv. teplotě vztažné.

Teplota hlavice může dosahovat značně vysokých teplot, teplota svorkovnice dosahuje někdy až 200°C . Srovnávací spoje se proto posouvají kompenzačním vedením do míst s příznivou teplotou okolí, kde se srovnávací spoje udržují v konstantní teplotě, anebo se provádí kompenzace vlivu teploty okolí na srovnávacích spoji obvodem.



Obr. 37. Schéma obvodu termoelektrického článku s elektrickou korekcí

kde:

t_s teplota v místě srovnávacích spojů

t_o vztažná teplota

t_m ... teplota v místě měřicího spoje

Materiály termoelektrických snímačů:

Při výběru materiálu pro termoelektrický snímač se snažíme splnit některé základní požadavky. Především, aby se závislost termoelektrického napětí na teplotě blížila lineárnímu průběhu. Materiál má být odolný proti chemickým, mechanickým a korozním

vlivům. Výstupní termoelektrické napětí má být co největší. Čím je hodnota napětí menší, tím je menší přesnost, měřicí přístroj musí být citlivější, a tím je choulostivější. U snímačů z křehkých kovů (vizmut, antimon apod.) je nutno tyto na sebe ve vakuu nastříkat nebo spékat.

Materiál volíme z hlediska požadovaného rozsahu teplot a požadované přesnosti měření. Důležitá je též časová stálost, popř. Střední doba životnosti snímače. Stálost charakteristiky má být s časem neproměnná. Tato podmínka se dá obzvlášť za vyšších podmínek těžko dodržet. Dochází k rekrystalizaci v místě spoje, popř. Ke stárnutí. Snímače se pak musí obnovovat a občas přecejchovat. Byly sestaveny dvojice materiálů, které se ke konstrukci termoelektrických snímačů používají. Jejich parametry jsou uvedeny v normách. V české státní normě jsou cejchovní řady termoelektrických článků Fe-ko, ch-a, ch-k (chromal-kopel) a PtRh-Pt. Jsou v ní udány hodnoty napětí odstupňované po 10°C po vztažnou teplotu srovnávacího spoje 20°C. Pokud je teplota srovnávacího spoje jiná (např. 0 nebo 50°C) pak musíme hodnoty napětí přepočítat. U termoelektrických snímačů je třeba počítat s tím, že i snímače téhož druhu mohou mít různý původ a tedy i různé cejchovní řady, takže jejich charakteristiky jsou poněkud rozdílné. Rozdíl je dán složením použitých materiálů.

Termoelektrické snímače pro nízké teploty:

Pro měření nízkých teplot -250 až +500°C se používá běžně termoelektrický snímač Cu-ko. Při přechodu přes 0°C se mění znaménko termoelektrického napětí snímače. Pro vyšší teploty je vhodná dvojice Fe-ko. Konstantan (ko) má podle normy 45%Ni, 55%Cu a nepatrný obsah jiných přísad (Mn, Si, Co, Mg), jehož zvětšení může nepříznivě ovlivnit termoelektrické vlastnosti snímače. Tyto přísady jsou vhodné zejména pro zvětšení odolnosti proti korozi. Velmi choulostivá je konstantanová větev v sirném prostředí. Někdy bývají též jako konstantan označovány slitiny s poněkud odlišným složením, které se pro realizaci snímačů tohoto typu nehodí.

Měď používaná na termoelektrické články má být elektrolyticky čistá. Na čistotě mědi velmi záleží, protože jakékoliv příměsi ovlivňují velmi podstatně její termoelektrické vlastnosti. Poměrně úzký teplotní rozsah je omezen malou odolností mědi, která se snadno okysličuje, dále pak korozní náchylností konstantanu a železa. Znečištění železa (S, Si, Mn a zvlášť C) smí být pouze několik setin procenta. Železo je náchylné ke korozi zvláště v prostředí plyných spalin. Intenzita koroze závisí jednak na kvalitním složení spalin, jednak na jejich teplotě. Pro různé prostředí, při určitých teplotách a stanovíme-li si přístupnou toleranci termoelektrického napětí, můžeme určit dobu životnosti snímače.

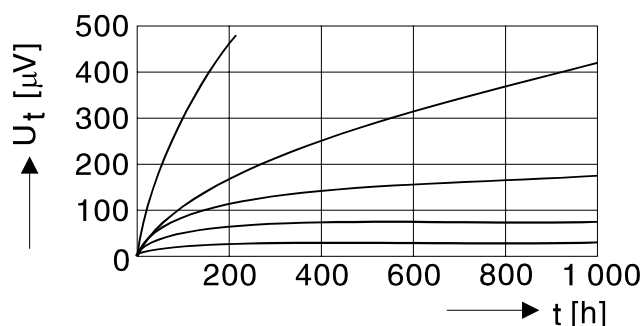
Pro vyšší teploty používáme termoelektrického článku NiCr-Ni. Pro měření teploty se používá tato dvojice déle než 50 let (Hoskins). Niklová větev má 95% Ni zbytek tvoří dezoxidační a jiné přísady. Větev niklochromová má mít 85% Ni, 10% Cr a zbytek tvoří opět dezoxidační a jiné přísady. Zachování předem stanoveného složení, zvláště obsahu chromu je velmi obtížné. Odchytky ve složení přirozeně vedou k odchylkám termoelektrických vlastností snímačů, vyrobených z různých materiálů, různých taveb nebo různými výrobci. Ve snaze po sjednocení byla proto stanovena mezinárodní srovnávací stupnice termoelektrických napětí pro různé teploty pro snímač NiCr-Ni. Složení této dvojice je následující :

Větev NiCr - 89% Ni, 9,8% Cr, 1% Fe, 0,2%Mn

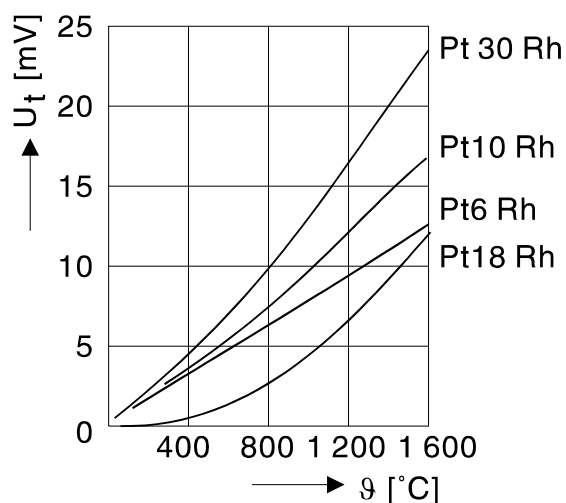
Větev Ni - 94% Ni, 2% Al, 1% Si, 2,5% Mn

Optimální množství chrómu, pokud jde o termoelektrické napětí je 0,8%. Při tomto obsahu chrómu je však doba života chrómniklové větve kratší než větve niklové. Volí se proto větší přísada chrómu, aby se doba životnosti obou větví přibližně vyrovnala.

Při teplotě 600°C se pokrývá povrch termoelektrického článku vrstvou okují, která sice na povrchu pevně drží, nechrání však vnitřní jádro drátu před další oxidací. Větší je toto působení u niklové větve při oxidaci vzduchu. Niklochromová větev je napadena podstatně méně, neboť souvislá vrstva oxidů, vytvořená na povrchu drátu, zabraňuje dalšímu okysličování. Také v prostředí sirnatých plynů je větev NiCr odolnější než větev Ni. Odolnost niklové větve může být sice zlepšena přidáním manganu, avšak přesto se škodlivý vliv síry při vyšších teplotách projeví zkřehnutím materiálu. V neutrální a redukční atmosféře, zvláště je-li zároveň zvětšena vlhkost prostředí, podléhá větev NiCr zvláštnímu druhu koroze, který se projevuje tím, že dochází k ochuzení této větve o chróm, a tím k nevratné změně termoelektrického napětí.



Obr. 38. Závislost termoelektrického napětí na čase pro termoelektrický článek NiCr-Ni



Obr. 39. Vliv přísady rhodia na charakteristiku termoelektrického článku PtRh-Pt

Na obr. 38. je uvedena závislost termoelektrického napětí snímače NiCr-Ni na čase pro různé hodnoty měřené teploty. Z grafu je patrné, že odchylky se nemění ani při dlouhodobém provozu, nepřestoupí-li teplota snímače 900°C.

Pro prodloužení životnosti a zvýšení odolnosti je výhodná plynotěsná armatura s keramickou trubicí, popř. chránění obou větví termoelektrického článku silikátovou nebo fosfátovou vrstvou. Pro stejný rozsah jako snímač NiCr-Ni je určen termoelektrický článek ch-a (chromel – alumel).

Zajímavé z provozního hlediska jsou snímače s dvojicí NiCu 6 - NiCu 30 nebo termoelektrický článek NiCo-Ni. Jde o tzv. termoelektrické články s potlačenou nulou. Závislost termoelektrického napětí na teplotě má takový průběh, že téměř do 200°C je napětí nulové, teprve pak stoupá, přičemž v rozsahu 400 až 900°C je téměř lineární. Význam této skupiny termoelektrických článků spočívá v tom, že parazitní vliv srovnávacího spoje je minimální a nepotřebuje zvláštní řešení.

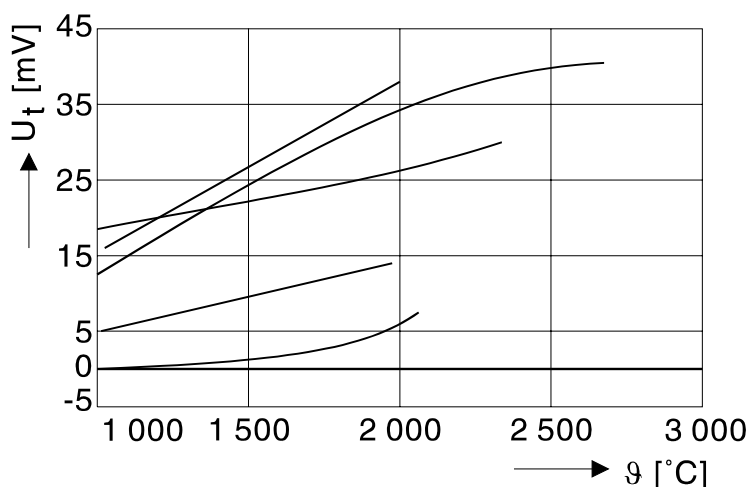
Termoelektrické snímače pro vyšší teploty:

Pro vyšší teploty do 1 500°C, krátkodobě do 1 600°C, se používají termoelektrické články řady PtRh-Pt. Patří mezi nejstarší (dvojice PtRh 10-Pt, Le Chatelier – 1877). Tento termoelektrický článek dosáhl největšího rozšíření. Pro správnou funkci je důležitá stálost složení slitin větví a především čistota platinové větve. Při trvalém používání při teplotě 1 200°C se však obě větve termoelektrického článku rozprašují. Snímač se musí pečlivě chránit před redukčním prostředím, před parami kovů a zvláště před křemíkem, který lehce difunduje do materiálu termoelektrického článku a mění jeho složení, a tím i jeho charakteristiku, na což nesmíme zapomenout při volbě materiálu izolace pro měřicí spoj termoelektrického článku.

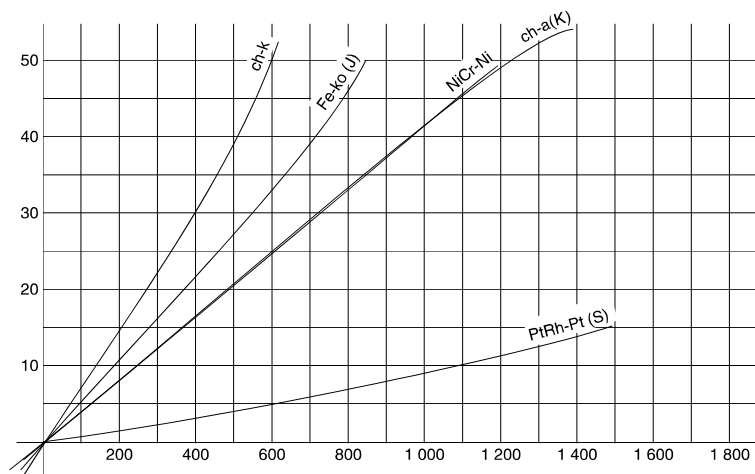
Při vyšších teplotách a delší době používání se též stává, že rhodium ze slitinové větve (např. PtRh 10) difunduje v místě spoje do čisté platiny, čímž se podstatně a nenávratně změní charakteristika snímače. Aby se potlačil uvedený jev a aby se zvětšila stabilita snímače, byl vyvinut termoelektrický článek s oběma větvemi slitinovými s různým procentem druhé složky. Tím se zmenší možnost přecházení rhodiové složky z jedné větve do druhé. Závislost termoelektrických napětí pro některé další vysokoteplotní dvojice je na obr. 41.. Hodnota napětí je podstatně nižší než termoelektrických článků z neušlechtilých kovů. Např. Dvojice IrRh 40-Ir se dá použít do 2 000°C, krátkodobě pro 2 100°C. Má dobrou stabilitu termoelektrického napětí v oxidačním a neutrálním prostředí. Jako ochranné trubky se používá slinutého korundu s kyslíčnickem thoria nebo hořčíku.

Pro měření v oxidačním prostředí jsou většinou vhodné slitiny platiny, rhenia a iridia. Termoelektrické články k měření v redukčním prostředí jsou většinou tvořeny z prvků nebo slitin molybdenu, wolframu, rhenia a tantalu. Termoelektrický článek wolfram-rhenium (do 2 200°C) se vyznačuje velkou hodnotou termoelektrického napětí. Určitou nevýhodou je křehkost jeho materiálu. Pro měření v interním plynu nebo ve vakuu je nejvhodnější termoelektrický článek W-Ir, který má velkou citlivost. Používá se do teplot 2 500°C. V redukční atmosféře se jím smí měřit pouze krátkodobě. Výhodou je, že v oblasti přes 1 000°C je jeho charakteristika téměř lineární. Termoelektrický článek W-W Re se používá pro nepřetržité měření do 2 500°C a krátkodobě do 2 800°C v redukční nebo interní atmosféře.

Použitelnost termoelektrických článků W-Mo, Ir-IrRh, Ir-Re, Re-W a dalších bývá v mnoha případech v provozních podmínkách nad 1 800°C z různých příčin omezena, např. Pro nevyhovující stálost, nezbytnost použití ochranného plynu apod.



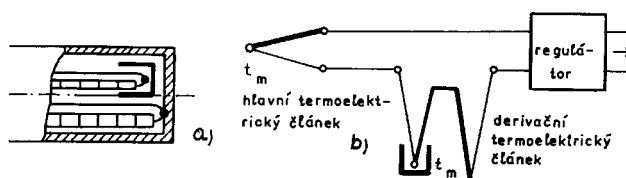
Obr. 40. Charakteristiky některých vysokoteplotních termoelektrických článků



Obr.41. Závislost termoelektrického napětí na rozdílu teplot měřícího a srovnávacího spoje

Konstrukce termoelektrických teploměrů:

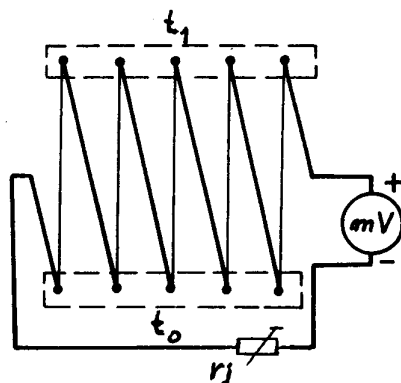
Pro průmyslové použití jsou termoelektrické články umístěny do ochranných trubic, které jsou konstrukčně shodné s odporovými snímači teploty. Termoelektrický článek je tvořen dvěma vodiči, které jsou spolu v místě měřícího spoje svařeny, spájeny nebo jinak pevně spojeny. Průměry drátů jsou do 3,5 mm pro obecné kovy a 0,35 mm pro vzácné kovy. Dráty jsou navzájem izolovány a připojeny na svorkovnici v hlavici měřící vložky. Snímače se vyrábějí o ponorech 100 mm až 2 m. Vyrábějí se jednoduché nebo dvojité (se dvěma termoelektrickými články navzájem oddělenými).



Obr.42. Derivační termoelektrický článek: a) měřící spoje, b) zapojení v regulačním obvodu

Speciálním provedením je derivační termoelektrický článek (obr. 42). Jsou to v podstatě dva termoelektrické články v diferenčním zapojení v jedné ochranné trubici. Měřící spoj jednoho termoelektrického článku je přivařen na dno ochranné trubice, druhý spoj je uložen v izolačním tělísku (tepelně izolován). Při neměnné teplotě mají oba spoje stejnou teplotu a výstupní signál (termoelektrické napětí) je nulový. Při stoupaní teploty má neizolovaný spoj vyšší teplotu než izolovaný a na výstupu vznikne kladný signál (odpovídá kladné derivaci teploty). Při poklesu teploty naopak neizolovaný spoj má nižší teplotu než izolovaný a na výstupu se objeví záporný signál. Polarita signálu tak odpovídá smyslu změny teploty, tedy její derivaci a velikost signálu odpovídá rychlosti změny teploty. Derivační teploměr se používá hlavně v regulačních obvodech, kde je zapojen v sérii s hlavním termoelektrickým teploměrem zapojeným na regulátor. V ustáleném stavu neovlivňuje regulační obvod, ale při změnách teploty svým signálem zvětšuje signál hlavního teploměru

a tím dosahuje předstih při snímání změn teploty. Zásah regulátoru je intenzivnější a kompenzuje tak teplotní zpoždění signálu ze soustavy.



Obr.43. Sériový termoelektrický článek

Sériový termoelektrický článek se používá při měření malých teplotních rozdílů, kdy by termoelektrické napětí jednoho termoelektrického článku bylo příliš malé. Termoelektrické napětí n -násobného termoelektrického článku je také n -násobné, tedy $E_n = n \cdot E_1$, kde n je počet párů termoelektrických článků. Na obr. 43. je schéma zapojení pětinasobného sériového článku s milivoltmetrem.

Pyrometry:

Pyrometry jsou bezdotykové teploměry, které určují teplotu měřeného tělesa z teplotního záření. Využíváme-li pro určení teploty tělesa širokého rozsahu vlnových délek, přístroj se nazývá radiační pyrometr (dříve totálně radiační pyrometr). Využívá-li pyrometr úzkého rozsahu vlnových délek, říkáme mu spektrální pyrometr (dříve parciálně radiační pyrometr). Pokud teplotu spektrálního pyrometru určujeme ze záře zářícího tělesa, nazývá se (ne zcela správně) jasový pyrometr. Veličina teplotního záření je „zář“ odpovídá veličině světelného záření „jas“. Optický pyrometr je druh jasového (i spektrálního) pyrometru, kde čidlem pro zjišťování rozdílu záře je lidské oko. Pyrometry se používají nejčastěji pro měření vysokých teplot nad 600°C .

Dokonale černé těleso maximálně pohlcuje i vyzařuje záření. Vyzařování je závislé na termodynamické teplotě. Intenzita vyzařování a pohltivost jsou si úměrné. Je-li teplota tělesa větší než teplota okolí, převažuje intenzita vyzařování nad pohltivostí. Podle Stefan-Boltzmannova zákona intenzita vyzařování H_0 [Wm^{-2}] je úměrná čtvrté mocnině teploty T [K] :

$$H_0 = \Psi \cdot T^4 \quad 10.8$$

kde: $\Psi = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

Indexem σ označíme, že se jedná o dokonale černé těleso. Intenzita vyzařování má integrální charakter, skládá se z příspěvků vyzařování při jednotlivých vlnových délkách, podle vztahu :

$$H_O = \int_0^{\infty} H_O \lambda d\lambda \quad 10.9$$

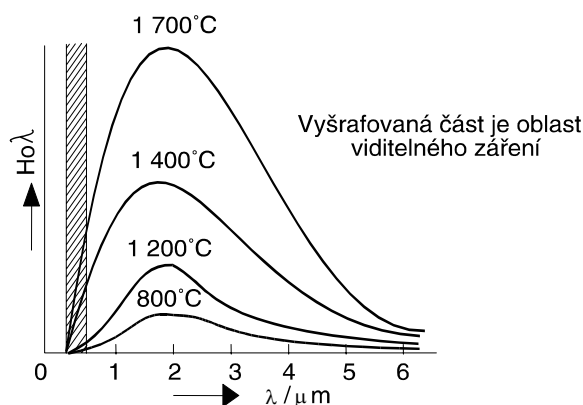
kde příspěvek $H_O \lambda$ [Wm^{-3}] se nazývá spektrální hustota vyzařování a λ [m] je vlnová délka záření.

Závislost spektrální hustoty intenzity vyzařování na vlnové délce a teplotě je dána Planckovým zákonem :

$$H_O \lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 (\exp(C_2 / (\lambda T)) - 1)} \quad 10.10$$

s konstantami $C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$
 $C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-12} \text{ mK}$

Závislost je graficky znázorněna na obr.44..



Obr.44. Záření dokonale černého tělesa

Plocha pod křivkou pro danou teplotu je rovna intenzitě vyzařování H_O při této teplotě. Maximum vyzařování se posouvá se vzrůstající teplotou ke kratším vlnovým délkám podle Wienerova zákona posuvu. Skutečné těleso vyzařuje (i pohlcuje) méně než černé těleso. Jeho spektrální hustota intenzity vyzařování H_λ je dána vztahem :

$$H_\lambda = A_\lambda H_O \lambda \quad 10.11$$

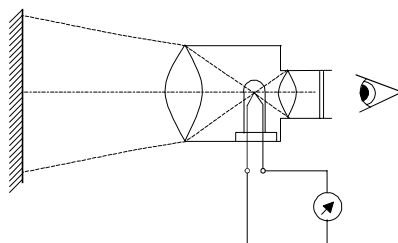
kde A_λ [1] je emisivita pro vlnovou délku λ . Závisí-li A_λ na vlnové délce, skutečné těleso je selektivní zářič, je-li konstantní v určitém rozsahu vlnových délek, skutečné těleso považujeme za šedé těleso.

Radiační pyrometr:

Je schématicky znázorněn na obr. 45. Využívá výchylkové měřící metody. Spojná čočka (nebo duté zrcadlo) zachycuje záření z určité oblasti žhavého tělesa a soustřeďuje je na začerněný terčík s termočlánkem (nebo jiným teplotním čidlem), umístěným v ohnisku. Dopadající záření se mění na teplo a zvyšuje teplotu terčíku až se dosáhne ustálený stav,

charakterizovaný určitou teplotou terčíku. Termoelektrické napětí E [mV] článku je pak úměrné čtvrté mocnině teploty žhavého tělesa T [K]. Statická charakteristika radiačního pyrometru bude přímka v logaritmických souřadnicích.

$$\log E = A + B \log T$$

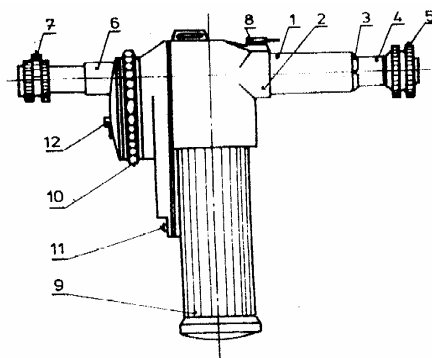


Obr.45. Radiační pyrometr

Za ideálních podmínek by směrnice B měla hodnotu 4. Spojná čočka i skleněné okénko část zářivé energie pohlcují, zejména v infračervené oblasti a pak $B > 4$, Údaj radiačního pyrometru nezávisí na vzdálenosti od zdroje, pokud zdroj zaujímá celé zorné pole. Intenzity záření sice ubývá se čtvercem vzdálenosti, avšak plocha v zorném poli stejně narůstá. Za tímto účelem je pyrometr opatřen okulárem, pro jeho zaměření na žhavý předmět a pro kontrolu, zda předmět zaujímá celé zorné pole. Zorné pole je vymezeno clonou, kterou lze nastavit rozsah pyrometru.

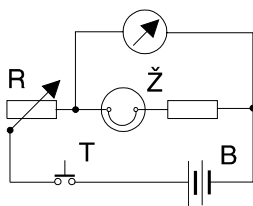
Optický pyrometr:

Např. „Pyrometr 1“ n.p. Metra provádí měření teploty při vlnové délce $0,65\mu\text{m}$. Je založen na nulové měřicí metodě tím, že v optickém systému se srovnává zář měřeného tělesa se zářem vlákna pyrometrické žárovky.



Obr. 46 Optický pyrometr

Optický pyrometr (Obr.46.) je dalekohled s výsuvným objektivem 4, jímž se vytváří obraz měřeného tělesa v rovině vlákna žárovky, a s výsuvným okulárem, zaostřujícím vlákno žárovky. Okulár obsahuje červený filtr 7, který vymezuje vlnovou délku záření. Zařazuje se při teplotách nad 900°C . Pro zvýšení měřicího rozsahu se vřadí mezi objektiv a žárovku šedý filtr páčkou 8.



Obr. 47. Elektrické schéma optického pyrometru



Obr. 48. Seřízení pyrometru

Elektrická část (Obr. 47) se skládá z pyrometrické žárovky Ž, žhavené proudem 3V baterie přes otočný reostat R a tlačítko T. Paralelně k žárovce je připojen magnetoelektrický měřicí přístroj s teplotní stupnicí. Účelem manipulace s přístrojem je nastavit odpor R tak, aby se konec smyčky vlákna žárovky svou září ztrácel v záři měřeného tělesa (Obr. 48.). Vlevo má vlákno žárovky nižší teplotu, vpravo vyšší a uprostřed správnou teplotu. Pyrometr I má rozsahy 700°C až 1 500°C s chybou $\pm 22^\circ\text{C}$ a 1 200°C až 2 300°C s chybou $\pm 35^\circ\text{C}$. Při měření do 900°C bez záření červeného filtru vzniká doplňková chyba na nemonochromatickosti, která může být maximálně $\pm 20^\circ\text{C}$.

Stupnice pyrometru je pro záření dokonale černého tělesa, které má emisivitu $A_\lambda = 1$. Reálná tělesa vyzařují méně energie, a proto bude jejich naměřená teplota vždy nižší než skutečná. Proto je nutno použít korekční tabulky a grafu pro výpočet korekce.

I přes korekce může docházet u pyrometrů k chybám, způsobeným absorbcí záření v prostředí. Sklo, dým a kouř, ale také CO₂ a páry H₂O absorbují tepelné záření. Naměřený údaj bude proto nižší.

Fotografické měření teplot:

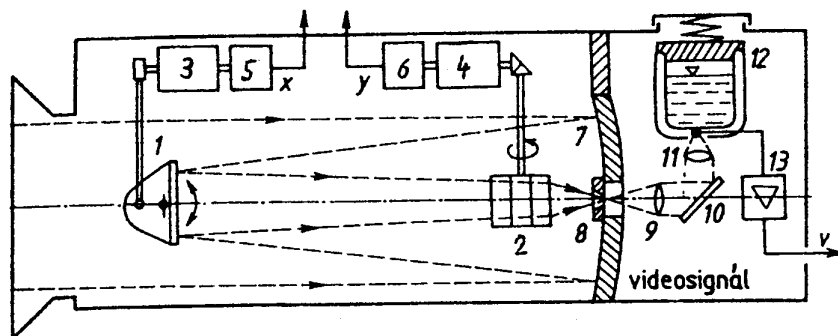
Fototermometrie umožňuje proměřovat i teplotní pole na povrchu předmětů, jejichž teplota se značně mění. Využívá se fotografického materiálu citlivého na infračervené záření ($\lambda = 0,78 \mu\text{m}$). Pro vyhodnocení snímku je nutno současně vyfotografovat tzv. teplotní měřítko se známým rozložením teploty. Rozsah měření je od 250 do 1 000 °C.

Teplotní měřítko je složeno z řady destiček, které jsou vyhřáty na různou teplotu, určenou termoelektrickými články. Citlivost měření je taková, že rozlišuje již nepatrné porušení teplotního pole nesprávně zabudovaným termoelektrickým článkem. Vyhodnocovat se mohou již plošky 0,25 mm².

Přesnost měření je ovlivněna především rozdílností emisivit teplotního měřítka a měřeného povrchu.

Termovizní systémy pro měření teplot:

Využívají infračerveného záření povrchů vyšetřovaných těles. Jsou velmi rychlé a umožňují přímé sledování změn povrchových teplot. Teplotní pole je snímáno speciální termovizní kamerou a zobrazuje se na obrazovce speciálního monitoru. Rozložení teploty na měřeném povrchu je na obrazovce zobrazeno termogramem, tj. plochou s různým stupněm šedi - od černé do bílé, popř. barevně. Termogram lze pozorovat, filmovat popř. zaznamenat na záznamové médium. Základním funkčním prvkem termovize je detektor infračerveného záření. V současné době se používá detektorů kvantových a pyroelektrických. Kvantové detektory při dopadu infračerveného záření zvyšují svoji elektrickou vodivost. Jsou selektivní a vyžadují chlazení na nízkou teplotu. Nejčastěji se používá antimonit india (InSb) chlazený kapalným dusíkem a to u kamer s rozkladem obrazu.



Obr.49. Termovizní kamera s rozkladem obrazu

Pyroelektrické detektory při dopadu infračerveného záření se ohřívají a vzniká v nich elektrický náboj. Jsou neselektivní a nevyžadují chlazení - pracují při běžné teplotě.

Dalším důležitým prvkem je snímací systém, který může být dvojího druhu - s postupným rozkladem obrazu a přímozobrazující.

Snímací systémy s postupným rozkladem obrazu jsou nejvíce používány. Pracují s opticko-mechanickým nebo elektronickým rozkladem obrazu a kvantovým detektorem. Mezi jejich výhody patří zejména:

- možnost pozorování termogramu i při denním světle
- možnost volby kontrastu termogramu ve velkých mezích
- možnost volby teplotního rozsahu ve velkých mezích
- možnost barevné reprodukce obrazu
- možnost záznamu termogramu.

Přímozobrazující systémy používají velkoplošné pyroelektrické detektory. Na povrchu detektoru se vytváří nábojový obraz úměrný dopadajícímu záření. Jejich použití je omezeno nižší přesností.

Termovize s rozkladem obrazu:

Snímací kamera (obr. 49.) zachycuje tepelné paprsky a soustřeďuje je dutým zrcadlem 7 na kmitající zrcadlo 1 (16 kmitů za sekundu), které paprsky rozkmitává ve vertikální rovině. Odražené paprsky procházejí osmibokým křemenným hranolem 2, který se otáčí rychlostí 200 otáček za sekundu a rozkmitává tak paprsky do řádků. Dále prochází paprsky clonou 8 a germaniovou čočkou 9 a dopadají na zrcadlo 10. Po odrazu dopadá na kvantový detektor 11 zabudovaný do dna termo-láhve 12 s kapalným dusíkem (- 195,8 °C). Videosignál je po zesílení v předzesilovači 13 veden do zobrazovací jednotky. K synchronizaci horizontálního a vertikálního rozkladu obrazu slouží fotoelektrické vysílače 5 a 6 poháněné motorky 3 a 4.

Zobrazovací jednotka (obr.50.) zajišťuje vytvoření termogramu na její obrazovce. Videosignál je veden z kamery do zobrazovací jednotky speciálním kabelem spolu se synchronizačními signály pro rozklad obrazu. Videosignál přichází do zesilovače 1 s přepínačem 2 pro volbu teplotního intervalu měřeného teplotního pole (1 - 2 - 5 - 10 20 - 50 - 100 - 200 - 500 - 1000 °C). Nastavený interval je indikován na okraji obrazovky monitoru. Přepínačem za zesilovačem 3 se volí druh termogramu (normální: černá až bílá, inverzní: bílá až černá), popř. izoterma. Prvkem 4 se volí stupeň šedi termogramu se zobrazením pod obrazovkou monitoru. Generátorem izotermy 5 lze ve spojení s ovládacím prvkem volit šířku izotermy a její hodnotu. To se opět zobrazí na poli pod obrazovkou monitoru černou (bílou)

stopou. Před obrazovku 8 je zařazen výstupní zesilovač. Synchronizační signály jsou vedeny do generátorů rozkladu obrazu 6 a 7.

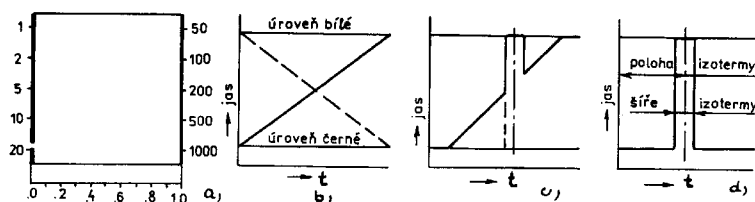
Pro získání osmibarevného termogramu se nastavuje jas termogramu v osmi částech rozsahu teplot pouze ve formě izoterm s potlačením ostatních částí termogramu. Termogram se pak postupně fotografuje na stejný snímek přes barevné filtry. Termovizní systémy bývají k tomuto účelu vybaveny automatickým zařízením.

Rozsah měření povrchových teplot je od -30 do $+200$ až $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ s rozlišením až $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Termovize přímozobrazující:

Tyto termovizní systémy používají pyroelektrické detektory. Na obrazovce monitoru se vytváří infračervený termogram pomocí vidikonové elektronky. Používají se nejčastěji ke zjišťování míst extrémních teplot, např. zdroj požáru v zakouřených prostorách apod.

Tyto systémy vykazují menší citlivost a přesnost a proto se k měření povrchových teplot používají jen velmi zřídka a to pouze pro orientační účely. Výhodou je jejich lacinost, menší spotřeba elektrické energie (možnost napájení z baterií) a není třeba detektor chladit na nízkou teplotu.

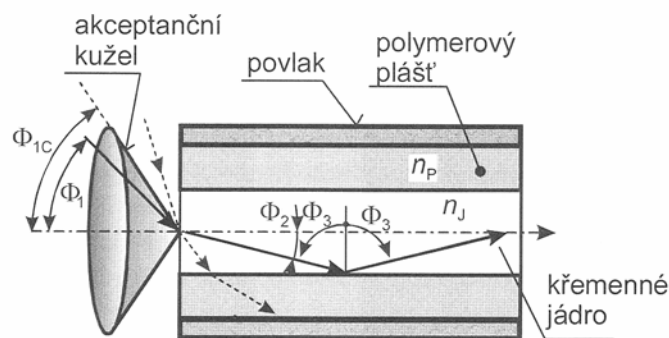


Obr. 50. Termogramy: a) stupnice na obrazovce, b) normální a inverzní termogram, c) izoterma, d) izoterma s potlačeným termogramem

Optické vláknové senzory teploty

Optické vláknové senzory (OVS) vznikly především z důvodů minimalizace nežádoucích vlivů okolního prostředí na parametry sdělovacích kabelů, kterými je přenášen údaj z teplotního čidla do měřicího přístroje. Základ OVS teploty je ve využití vlivu teploty na vlastnosti optických vláken. Měřená teplota moduluje optický signál, který je vyslán do optického vlákna zdrojem záření (polovodičové elektroluminiscenční diody LED nebo polovodičový laser) a detekován polovodičovou diodou typu PN, PIN nebo lavinového typu.

Optické vlákno používané pro OVS se skládá z válcového jádra s indexem lomu n_j a obalu s indexem lomu n_p dle Obr. 51. Paprsek prochází jádrem tehdy, pokud dochází na rozhraní jádra a pláště k totálnímu odrazu, tj. pokud index lomu jádra je alespoň o 1% větší než index lomu pláště.



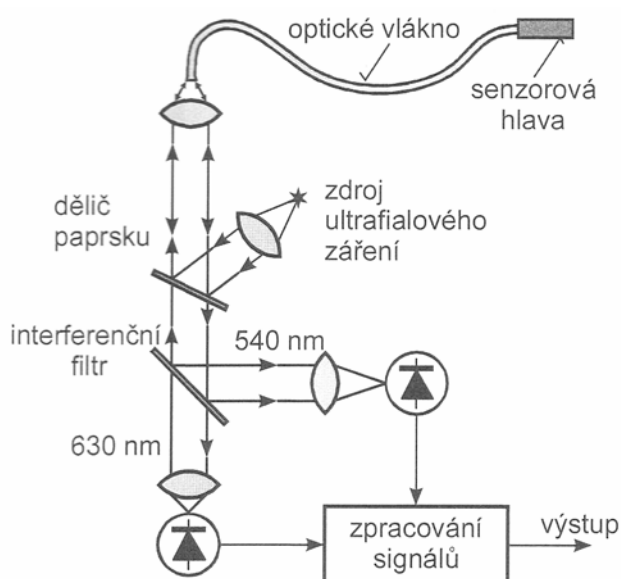
Obr. 51. Dvouvrstvý optický vláknový vlnovod

OVS teploty lze podle způsobů modulace rozdělit na senzory s modulací:

- amplitudovou, která je založena na změně útlumu optické vlny nebo na proměnné odrazivosti vlivem změny indexu lomu ve vlákně
- fázovou, která je založena na změně fáze optické vlny postupující snímací částí optického vlákna
- polarizační, která je založena na teplotní závislosti stáčení roviny polarizace světla
- rozložení vlnové délky (spektrální), které jsou založené na změně vlnové délky světla, spektrálního rozdělení vlnových délek světla nebo barvy světla ve vlákně nebo posunem absorpční hrany polovodičů
- ostatní

OVS teploty se také člení na lokální (snímání teploty v jednom místě) a distribuované (tj. rozprostřené), které vyhodnocují teplotu po celé délce měřicího úseku vlákna.

Příklad OVS s využitím teplotních změn fluorescence je na Obr. 52. Jedná se o transmisní, lokální OVS s modulací vlnové délky.



Obr. 52. Optický vláknový fluorescenční teploměr

10.1 Měřicí systém pro vzdálené měření teplot

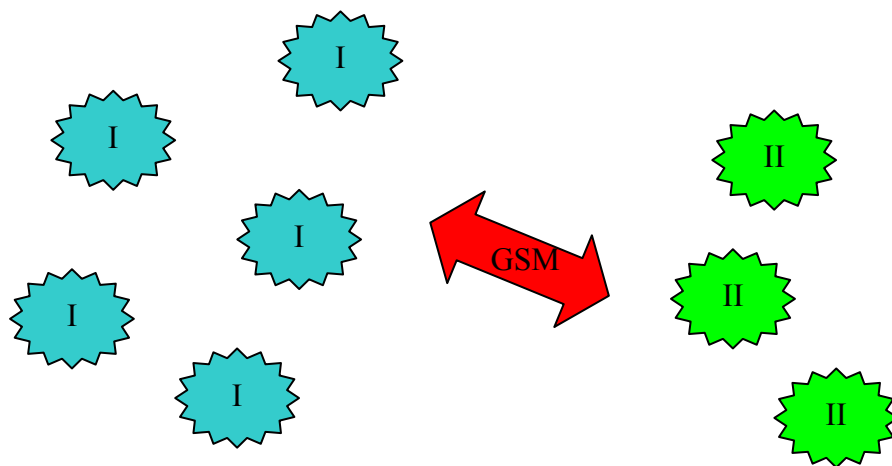
Měřicí systém pro sledování teplot v hloubkových sondách byl navržen a zrealizován týmem odborníků na Katedře měřicí a řídicí techniky VŠB-TU Ostrava, přičemž jeho prvotní verze byla vyvinuta na zakázku společnosti Stavební geologie - Geotechnika a.s. V současné době je již vyvinut a zrealizována nová verze tohoto měřicího systému, která byla úspěšně implementována při instalaci průzkumných vrtů pro teplotní čerpadla pro nově budovanou Aulu a CIT VŠB-TU Ostrava.

Systém pro monitorování měřených teplot se skládá z software – Supervisory Control And Data Acquisition systému (dále je SCADA) s aplikací a hardwaru – GSM Modul pro komunikaci softwaru s hardwarem pro měření příslušných teplot ve vrtech. Hardware je reprezentován pomocí GSM Modulu Siemens MC 35, který slouží pro komunikaci v GSM síti. Je možné komunikovat pomocí krátkých textových SMS zpráv nebo pomocí datového přenosu GPRS.

V principu se jedná o základní prvek rozsáhlého distribuovaného systému autonomních hloubkových sond jejichž hlavním úkolem je měření teploty v definovaných hloubkových úrovních. Naměřená data jsou následně automaticky bezdrátově předávána ke zpracování v centrálním počítači dispečinku. Zde jsou hodnoty vizualizovány, predikovány změny teplot v jednotlivých vrtech a hodnoty archivovány. V případě nárůstu teplot nad stanovenou mez je obsluha dispečinku na toto upozorňována a koordinovaně zprostředkovává úpravu a zamezení vzniku požáru.

V rozsáhlých distribuovaných systémech řízení nebo v rozsáhlých informačních systémech se používá stále častěji bezdrátové komunikace se vzdálenými objekty, které jsou součástí těchto systémů. Druhou oblastí použití bezdrátové komunikace jsou mobilní objekty v řídicím nebo informačním systému. U rozsáhlých systémů můžeme s výhodou použít komunikace kterou poskytuje technika GSM. Dobré pokrytí signálem u GSM umožňuje budovat měřicí a řídicí systémy, kde komunikace může probíhat i v náročném terénu, což je i případ systému měření teplot v sondážních vrtech na důlních odvalech.

Navržený systém nabízí komplexní využití při bezdrátovém přenosu měřených dat pomocí technologie GSM. Obecně se skládá ze 2 hlavních částí: uzel I) měřicí + vysílací, uzel II) přijímací + vizualizační.



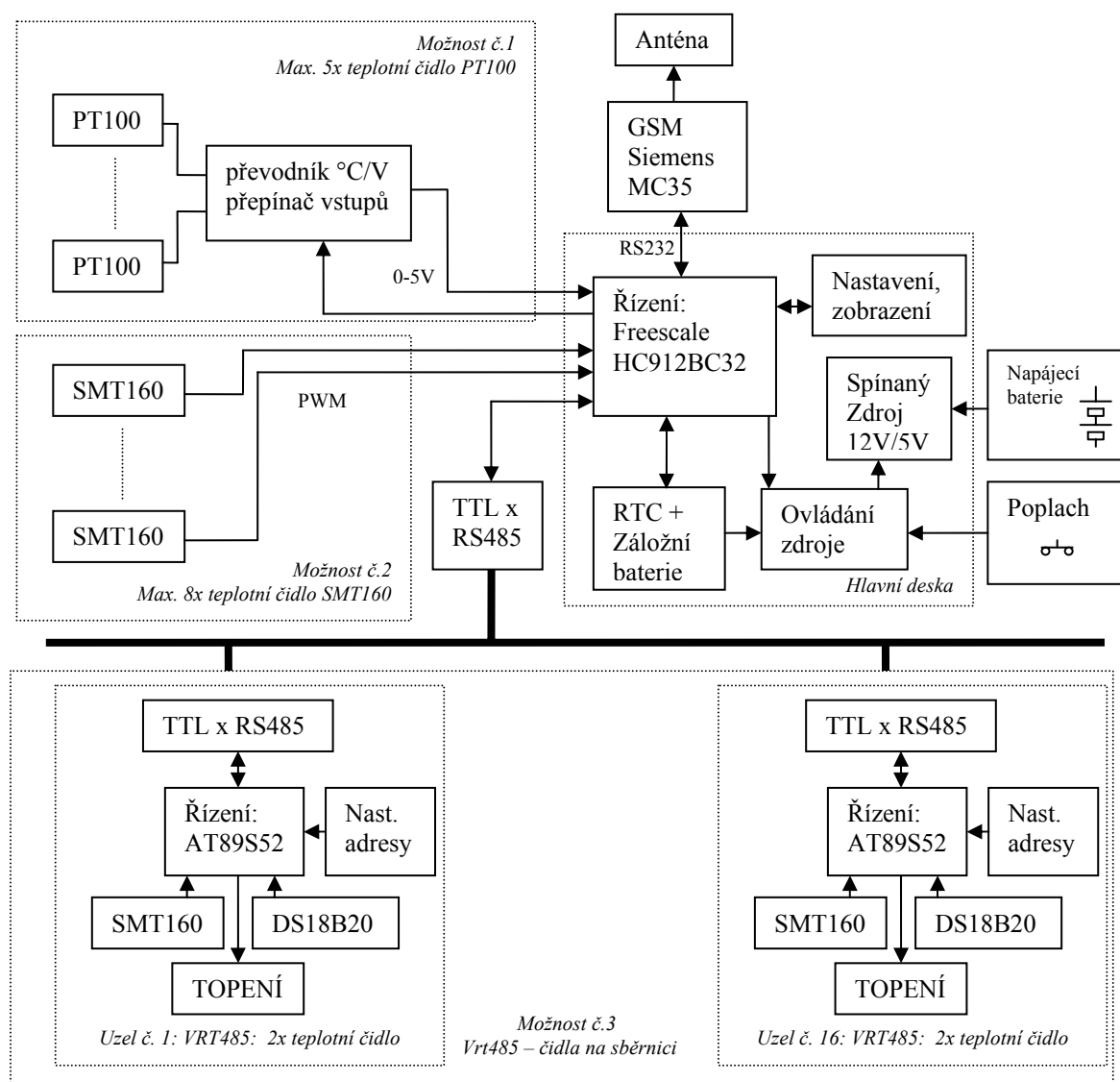
Obr. 53. Obecné schéma rozmístění uzlů I a II

Z použité technologie je zřejmé, že obecně lze vybudovat libovolné množství uzlů I, které komunikují s uzlem II. Vzdálenost těchto uzlů od dispečerského pracoviště (uzel II) je neomezená a je limitována pouze pokrytím území signálem GSM. V závislosti na konfiguraci celého měřicího řetězce lze také samozřejmě vybudovat libovolný počet uzlů II, které mohou být např. použity jako záložní uzly apod.

Uzel I je obecně tvořen jednotlivými vrty, ve kterých je umístěna elektronika, která provádí vlastní měření teploty a naměřená data předává nadřazenému systému. Ten data shromažďuje, kompletuje do paketů a pomocí technologie GSM přenáší do dispečerského pracoviště.

Uzel II představuje dispečerské pracoviště, ve kterém probíhá příjem, základní zpracování a vizualizace naměřených dat. Data je možné následně detailně analyzovat pomocí vybraného SW, zobrazovat různé grafické závislosti měřené teploty a v neposlední řadě také tyto výsledky archivovat. Obsluha dispečerského pracoviště je také upozorňována různými druhy alarmů na kritické hodnoty a stavy, které mohou vzniknout v oblasti instalovaných vrtů (překročení teploty, neoprávněný zásah apod.).

Měřicí systém pro měření teplot ve vrtech, jeho HW část, se skládá ze dvou hlavních částí. První část je část řídicí, která je jednotná pro všechny typy a části druhé. Druhá část je měřicí, která závisí na aplikaci. Pro každou aplikaci tuto část lze změnit. Pro uvedenou aplikaci měření teplot ve vrtech byl vyvinuty tři odlišné varianty, uvedené v blokovém schématu. V navržené elektronické realizaci lze využít obou variant měření. Základní sestava je složena z řídicí části, skupiny teplotních senzorů měřicí části, napájecí baterie, GSM modulu a antény jak je znázorněno v blokovém schématu na obr.54.



Obr. 54. Blokové schéma Měřicího systému

10.1.1 Řídící část

Jádrem řídicí části je 16-ti bitový mikrokontrolér Freescale (Motorola) MC68HC912BC32, který ovládá GSM modem Siemens MC 35 prostřednictvím AT příkazů. Komunikace probíhá po sériové lince RS 232. Ke GSM modulu je možné připojit speciálně upravenou anténu pro horizontální umístění na povrchu sondy nebo běžnou GSM anténu. Pro univerzálnost nasazení měřicího systému kamkoliv do terénu bylo zvoleno napájení z 12V akumulátoru. Pro zajištění nízké spotřeby energie a tedy dlouhodobé životnosti měřicího systému, byl navržen následující systém řízení napájení. Systém obsahuje záložní Lithiovou baterii, která napájí ovládání spínaného zdroje a obvodu RTC pro generaci reálného času a alarmů. Mikrokontroler ovládá obvod RTC prostřednictvím sběrnice I2C. Po naprogramování příštího spuštění vestavěného systému přeruší mikrokontroler prostřednictvím obvodu ovládání spínaného zdroje napájení měřicích částí, GSM modemu i vlastní napájení. Tím se výrazně sníží spotřeba celého systému. Řídící část obsahuje rovněž

bezpečnostní vstup, který hlídá neoprávněnou manipulaci se sondou např. otevřením víka krytu sondy. Bezpečnostní vstup je rovněž vázán na obvod řízení napájení umožňující okamžitý přechod z režimu sníženého příkonu.

Algoritmus chování řídicí části zabezpečuje následující funkce:

- Pravidelná aktivace mikroprocesoru a GSM modulu ve zvolených intervalech měření a servisních služeb.
- Vlastní měření s vysláním dat přes GSM.
- Příjem ovládacích a konfiguračních dat z dispečerského pracoviště.
- Okamžité oznámení havarijního vstupu.
- Okamžité oznámení snížení kapacity akumulátoru a záložní baterie pod zvolenou mez.

Naprogramování vestavného systému pro měření a přenos měřených dat lze provést buď službou SMS nebo GPRS.

Vlastní programování mikrokontroléru je možné provést dvěma způsoby. První možností je s využitím prostředků UML a automatického generování kódu pro procesor HC12. Pro tento návrh je využíváno prostředí „Rhapsody in MicroC“ a „CodeWarrior for Embedded Systems“, návrh algoritmu provádíme pomocí prostředků UML (symbolický návrh). Výhodou je možnost simulace chování embedded systému na osobním počítači PC. Druhou možností je přímé programování v jazyce C v prostředí CodeWarrior.

Formát SMS

Nastavení:

nastavení buzení	0/perioda/hodiny:minuty:sekundy	př. 0/1/09:12:00
okamžité měření	1/	př. 1/
nastavení času	2/hodiny:minuty:sekundy	př. 2/10:01:00
nastavení čísla ústředny	3/číslo ústředny	př. 3/"/+420123456789"
nastavení počtu vstupu	4/počet vstupu	př. 4/16

Vysílání:

Řádné/ruční měření

stav/ teplota1/ teplota2/ teplota3/ teplota4/ teplota5/baterie/záložní baterie/zůstatek

Poplach/chyba	stav/
příklad měření stav OK	1/32,9/32,6/32,6/32,6/32,5/12,7/03,1/146,20 Kc
příklad měření stav ruční	3/32,9/32,6/32,6/32,6/32,5/12,7/03,1/146,20 Kc
příklad poplach	2/
příklad chyba baterie	0/00,0/00,0/00,0/00,0/00,0/10,9/01,1/146,2 Kc

pozn. Chyby baterie hlásí pod 11V napájecí a pod 1,2V záložní, pod 10V se vrt úplně vypne

10.1.2 Měřicí část

Elektronika sondy vrtu umožňuje v současné době tři možná řešení, které jsou v současné době ověřena. Řešení se liší hranicí maximálně dosažitelné provozní teploty, která je ovlivněna technologickým principem snímacích elementů a maximální možné vzdálenosti čidel od řídicí části.

Možnost č.1 – Čidla PT100

Ekonomicky náročnější možnost řešení elektroniky vrtu, plně splňující požadovaný rozsah měřených teplot, pracuje se snímači Pt100 v provedení se zapouzdřením v jímkách z nerezavějící oceli a vedením se silikonovou izolací dlouhodobě odolávajícím zvýšeným teplotám a případně i agresivnímu prostředí. Výstupy jednotlivých snímačů jsou vedeny na analogový multiplexer jehož spínání jednotlivých měřicích kanálů je řízeno digitálními výstupy mikrokontroleru HC12 z řídicí části. Jednotlivé snímače jsou napájeny proudovým zdrojem. Díky implementovanému obvodovému zapojení jsou odstraněny vlivy vedení a souvisejících obvodů na přesnost měření. Signál vedený z multiplexeru je zesílen operačním zesilovačem a přiveden na interní A/D převodník mikrokontroleru. Programově je převedena analogová hodnota na číslo a následně spolu s jinými údaji dle zvoleného programu distribuce hodnot zaslána službou SMS ke zpracování do pracoviště dispečinku.

Možnost č.2 – Čidla SMT160

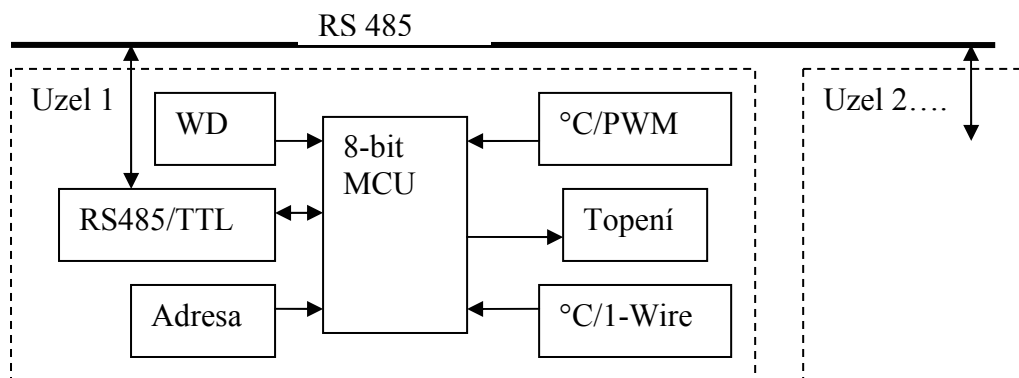
U ekonomicky levnější možnosti jsou použita teplotní čidla se senzory SMT 160 s mezní pracovním rozsahem do 175°C (optimální hranice pracovní teploty je 135°C). Finanční úspora se promítá ve zjednodušení obvodového řešení obvodů zpracování signálu navazujících na implementovaný mikrokontroler HC12. Díky výběru inteligentního snímače s výstupem se zakódovanou měřenou hodnotou do šířkové modulace vystupujícího napětíového signálu je tato verze zjednodušena o obvody úpravy signálu – filtry, zesilovače, multiplexery, proudové zdroje. Výstupy jednotlivých snímačů jsou přivedeny přímo na digitální vstupy mikrokontroleru a hodnota jednotlivých snímačů je díky interním čítačům a programovým prostředkům mikrokontroleru převedena na číslo a následně spolu s jinými údaji dle zvoleného programu distribuce hodnot zaslána službou SMS nebo GPRS ke zpracování do pracoviště dispečinku.

Možnost č.3 – VRT485

Předcházející možnosti předpokládali vzdálenost teplotních čidel v metrech až desítkách metrů. V případě požadavku na větší vzdálenost v řádově stovkách metrů je nutné zpracovat údaje z teplotních čidel na místě a údaje předávat pomocí průmyslové sběrnice. Možnost č. 3 tak představuje soustavu čidel na průmyslové sběrnici s maximálně 32 moduly Vrt485. Vrt485 je postaven na sběrnici RS485 což je dvou vodičová sběrnice běžně používaná v průmyslu na které je např. postavena sběrnice ProfiBus.

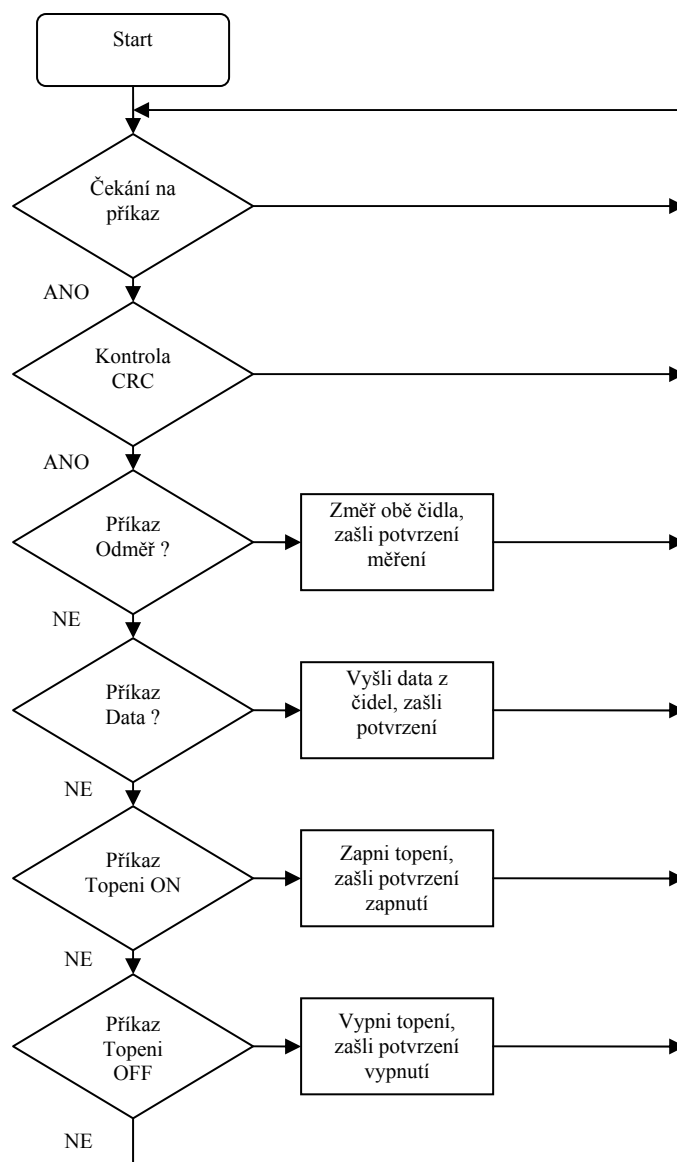
Základem Modulu VRT485 je 8 bitový mikroprocesor, na který jsou připojeny dvě čidla teploty. Každé čidlo je založeno na jiném principu pro zajištění vyšší důvěryhodnosti. Každý uzel je vybaven topením pro zajištění teplotního skoku, monitorem napájení a převodníkem na linku RS485. Teplotní skok je využit k ověření funkce teplotních čidel. Adresace je zajištěna zkratovacími propojkami v rozsahu 0-31. Ve skutečnosti je propojka realizována propojením přímo na plošném spoji pro zajištění maximální spolehlivosti. Uzel se programuje prostřednictvím vyvedeného ISP (In system programming) konektoru.

Blokové schéma



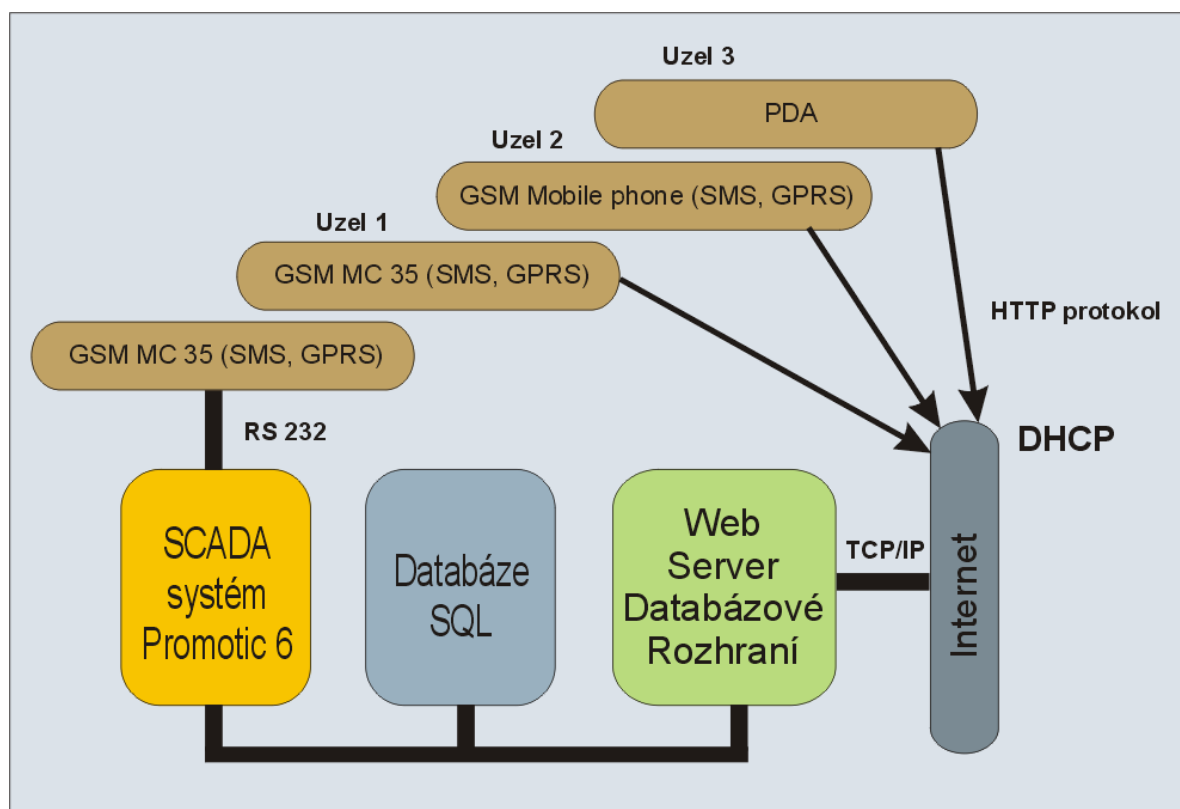
Programové řešení měřicí jednotky

Následující vývojový diagram popisuje chování programu pro každou jednotku.



Výše popsána problematika je věnována především HW části měřicího systému. Pro ucelenou komplexní funkci systému je nutné jeho doplnění o SW podporu včetně vizualizace a zpracování dat.

Základem systému pro měření a monitorování je SCADA systém Promotic 6. Kromě SCADA systému jsou využívány databázové systémy jako jsou SQL databáze nebo databáze od Microsoft - Microsoft Access. Systém byl vyvíjen postupně a ten co je znázorněn na obr.55. je systémem druhé generace. Systém první generace fungoval pouze na bázi SMS a neobsahoval webové rozhraní, to znamená nedokázal komunikovat pomocí GPRS. Také komunikační protokol musel být rozšířen, jelikož první systém byl konstruován pro menší počet měřících čidel.



Obr. 55. Softwarové systémové schéma vrtů 2.generace

Pro komunikaci přes internet je využíván komunikační webový server. Komunikační webový server je napojen do sítě, přičemž klienti na základě dynamicky přidělené IP adresy (DHCP protokolu) k němu přistupují. Přenášení dat je realizováno pomocí TFTP protokolu. Získaná data jsou pak ukládána do systémové databáze na počítači, kde běží SCADA systém Promotic 6. Přenos dat z hardware umístěného v terénu nad vrtem je umožněn pomocí druhého GSM modulu umístěného v hlavici vrtu. Komunikace probíhá podle vlastního přenosového protokolu. Systém uzlu je koncipován tak, aby každý prvek systému mohl komunikovat s ostatními. Zároveň se do systému může zapojit jakýkoliv mobilní objekt (nový prvek), který umožňuje přístup do GSM sítě na bázi SMS nebo GPRS nebo pomocí připojení k internetu (Mobil nebo PDA). Podmínkou je znalost přenosového protokolu. Z toho vyplývá, že změny v systému nemusí provádět jen operátor u SCADA systému, ale jakýkoliv pověřený

servisní technik. Procesní zprávy o měření jsou zpracovávány v SCADA systému Promotic 6 a následně ukládány do databáze.

Kromě aplikace využívající SCADA systém pro vzdálenou komunikaci, byla vyvinuta aplikace pro přímé testování jednotlivých čidel ve vrtech přímo v terénu. Testování je důležitou součástí nasazení aplikace pro vzdálené měření.

Propojení mezi GSM modulem a PC, na kterém běží vizualizace procesu – SCADA systém Promotic 6 je realizována pomocí sériového rozhraní RS232, které naprosto postačuje svojí rychlostí vzhledem k propustnosti GSM sítě, nehledě na to, že systém měření teplot, je relativně z hlediska času dlouhodobý proces. Komunikace po sériové lince RS232 probíhá pomocí znakově orientovaného protokolu, buď v textové nebo binární podobě – dva různé módy přenosu. GSM modul komunikuje se svým okolím pomocí AT příkazu, které jsou standardizované a běžně dostupné. Každý výrobce specifikuje svoje rozšířené AT příkazy a udává ucelený seznam AT příkazů.

Aplikace ve SCADA systému pracuje na základě příkazů, událostí a dotazů. Příchozí data jsou dekodována na základě protokolu a jsou vyslána do databáze a zároveň uložena do procesních proměnných, se kterými pracuje SCADA systém.

Testovací software pro přímé měření v terénu, byl navržen v Borland Delphi a lze jen libovolně rozšířit a upravit. Komunikace s hardware vrtu probíhá přes sériové rozhraní RS 232. Na hardware vrtu je vyveden sériový port, přes který se komunikuje s testovací aplikací.

Systém je řízen z hlavní systémové obrazovky. Hlavní systém obsahuje zobrazení 12 nezávislých vrtů. Každý vrt si udržuje svoje aktuální hodnoty o aktuální maximální teplotě v příslušném vrtu a managementu napájení hardware jednotlivých vrtů. Management napájení sleduje aktuální stav napájecího napětí v procentech maximálního napájecího napětí. Jednotlivé stavy vrtů ve SCADA systému jsou barevně a zvukově odlišeny, aby obsluha zaregistrovala změny, které nastaly v systému.

Pokud vrty v aplikaci ještě nejsou inicializovány, mají světle zelenou barvu. Jestliže obsluha inicializuje vrt a přidá mu příslušnou identitu, vrt začne komunikovat s vzdáleným hardware vrtu. Podle toho v jakém stavu se vrt nachází, zobrazí se příslušnou barvou. Pokud je vrt v pořádku zobrazí se sytě zelenou barvou. Pro dané chyby jsou nadefinované barvy a zvukové hlášení, které jsou možné nalézt v manuálu pro obsluhu. Chybové stavy jsou určovány podle překročení teplotních limitů, stavu napájecích baterií, stavu kreditu v hardware příslušného vrtu.

Na systémové obrazovce se kromě jednotlivých vrtů, také nacházejí dvě tlačítka. Jedno slouží k hromadnému vyčtení všech aktuálních teplot z vrtu “**Vyčti všechny teploty**”, což neznamená, že informace o teplotě okamžitě přijdou. Hardware vrtů jen naprogramován, tak že se vrt budí ve stanovených intervalech, které jsou mu zadány z dispečerského stanoviště nebo servisní obsluhou. Tento systém je zaveden kvůli lepšímu managementu napájecích baterií. Díky uspávání vrtů, se prodlouží mnohonásobně životnost baterie a tím se zmenší finanční nároky na údržbu.

Druhým tlačítkem na systémové obrazovce je “**Servis**“. Servis má za úkol nastavit parametry vrtu. Pokud vytváříme nový vrt nebo měníme konfiguraci polohy a číslo vrtu, pak právě pro tyto účely použijeme servisní obrazovku. Konfigurace polohy znamená zadání

názvu, kde se vrt nachází. Podle čísla vrtu se identifikuje vrt v síti. Během servisní výměny dochází ke kompletní výměně celého vrtu, tím pádem dochází také ke změně telefonního čísla, přes které se komunikuje s vrtem. Tuto změnu řeší servisní obrazovka, kde se změní pouze číslo vrtu a všechny nové informace jsou kontinuálně ukládány stejně, než došlo ke změně čísla vrtu, s tím rozdílem, že mají jiné číslo .

Posledním informačním údajem na hlavní obrazovce je informace o stavu aktuálního kreditu GSM terminálu, komunikačního uzlu pro SCADA systém. Systém informace o stavu kreditu je tvořen ActiveX prvkem, který je napojen na sériový port, kde je umístěn GSM Modul. Ve volných cyklech, kdy nedochází ke komunikaci operátora se systémem, ActiveX prvek vyčítá a kontroluje stav kreditu u terminálu.

Po kliknutí na panel jednotlivého vrtu (z dvanácti možných vrtů), který je umístěn na hlavní obrazovce se objeví obrazovka detailu vrtu. Detail vrtu umožňuje operátorovi měnit nejrůznější parametry vrtu. Dále pak jsou zde rozšířené monitorovací prvky, které není možno vidět v hlavním okně, jako jsou jednotlivé teploty v příslušných hloubkách, stavy jak hlavní tak záložní baterie, stav narušení vrtu cizím zaviněním – bezpečnost vrtu, stav aktuální výše kreditu u příslušného vrtu.

Co se týče parametrů nastavení vrtu, je možné v detailu vrtu nastavit, kolikrát má být vrt probuzen ať už za den nebo týden či měsíc. Toto nastavení se provádí pomocí výběru periody vyčtení vrtu. Další specifikací nastavení je v kolik hodin se má přesně probudit. No a aby bylo možno čas do času synchronizovat systémový čas, tak dalším parametrem je “Nastavení času ve vrtu“. Jelikož se může stát, také dojde ke změně čísla terminálu u SCADA systému, tak se zároveň vrtu, také posílá aktuální číslo terminálu. Číž říká vrtu, kam má změřené informace zasílat, tedy jakému uzlu je předat.

Změřená data jsou uchovávána v databázi, ze které jsou získávány údaje pro operátora v podobě tabulky. Data jsou tříděna podle časových známek, tak jak přišla za sebou. V této tabulce si operátor může rychle dohledat, požadované teploty, nebo jiné informace o kterých již byla řeč. Například: Stav hlavní baterie nebo stav vrtu a nebo stav kreditu v požadovanou dobu, kdy došlo k získání dat z vrtu. Kromě možnosti dohledání kompletních dat pomocí tabulky, může operátor také využít prohlížeč historických trendů.

Prohlížeč trendů, jak je vidět na předchozím obrázku se skládá informační interaktivní tabulky teplot v jednotlivých hloubkách. Je zde specifikována příslušná hloubka a je udáno o jakou barevnou křivku se jedná. Dále pak v tabulce se nachází předdefinovaná maximální a minimální teplota v příslušné hloubce. Poslední položkou v tabulce je pak příslušná hodnota v požadované hloubce. Jednotlivé doby vyčtení jsou pak znázorněny pomocí černých proužků.

Jak již bylo řečeno kromě SCADA systému s aplikací pro vzdálené měření a monitorování byl vyvinut software také pro přímé testovací měření. Kde jsou data – teploty a stavy čidel v jednotlivých úrovních vrtu testovány a přijaté zprávy o stavu a hodnotě teploty jsou zobrazovány v testovací aplikaci. K testování byl využit notebook se sériovým portem, který komunikuje s hardware vrtu.

Ovládání testovací aplikace je velmi snadné. Jako první krok je otestování a zvolení komunikačního portu aplikace s hardware vrtu. Poté se nastaví příslušná adresa čidla které se má otestovat a zvolí se testovací příkaz. Testovací příkazy jsou čtyři a to: 1) Odměř – tento

příkaz provede otestování a změření teploty. Dále pak 2) Vyčti – příkaz provede zaslání změřených dat z adresovaného čidla. Nebo spíš čidel, protože každá deska v příslušné úrovni hloubky vrtu obsahuje dvě čidla a to čidlo SMT a čidlo DALLAS, jakož to kontrolní mechanismus pro zaručení korektnosti měření. Jednotlivé teploty obou čidel se budou nepatrně lišit. 3) Zapni topení – příkaz zapne topení, které začne ohřívat prostředí kolem čidel, což slouží jednak pro kontrolu, že čidla měří dobře a jednak pro vysušení prostředí v pouzdře čidla pokud tam zůstala zbytková vlhkost. 4) Vypni topení – příkaz, který vypne zapnuté topení v dané úrovni hloubky vrtu. Po nastavení uvedených parametrů se příslušná zpráva pošle na příslušnou nastavenou adresu pomocí tlačítka “Pošli”.

Systém pro vzdálené měření a monitorování teplot umožňuje získávat a zasílat data i tam, kde by to fyzicky nebylo možné díky pokrytí GSM sítí. Do systému není nutno přistupovat je výlučně z SCADA systému, ale také z jiných mobilních prostředků podporující GSM nebo internet. Systém nemusí nutně jen měřit teplotu, ale může být nasazen i na jiné aplikace, což si vyžádá jen změnu grafického uživatelského rozhraní a změnu napojení proměnných na SCADA systém a databáze. To samé co bylo řečeno o jednoduché změně v SCADA systému, platí taktéž pro testovací systém pro přímé měření na hardware vrtu. To znamená rozšíření grafického uživatelského rozhraní a přidání dalších funkcí dle rozšiřujících požadavků.

Instalace teplotních čidel

Teplotní čidla jsou konstruována a délkově upravena tak, aby vyhovovala jejich instalaci do sondy vrtu a nebyla potřebná jejich úprava na místě. Jejich zavádění do vrtu je možno dvěma způsoby. Jedním z nich je zavádění pomocí dlouhé pružné kleštiny a uchycení na pozici ve vrtu pomocí rozpěrné planžety z fosforbronz. Tato metoda umožňuje snímání teploty téměř bezprostředně z povrchu ocelové trubky sondy v místě uchycení pouze s vlivem síly rozepnutí kotvicí planžety. Je zřejmé, že pro větší hloubky bude problematické přesné navedení snímače do polohy a jeho umístění.

Druhá z možností je umístění jednotlivých snímačů na vzájemně sešroubovatelné trny s délkou umožňující jejich jednoduchou manipulaci nejen při dopravě ale také při zavádění do ocelové trubky sondy. V tomto případě by byla měřená teplota zatížena chybou související s přestupem tepla mezi ocelovou stěnou sondy a prstencem vzduchu v mezeře mezi stěnou sondy a trnem se snímači. Tato metoda však umožní případně i jednoduchou demontáž či výměnu snímačů v jednotlivých patrech vrtu a zkrátí čas montáže díky možnosti přípravy uchycení snímačů a přichycení jejich kabelů předem. Po laboratorním testování obou výše uvedených variant jsme přistoupili pro prvotní navržený systém měření teplot k druhé metodě umístění snímačů.

Při návrhu a konstrukci měřicího systému pro tepelná čerpadla bylo zvoleno umístění samotných teplotních snímačů včetně jejich elektroniky do plastové krabičky. Deska s elektronikou je ošetřena chemickými přípravky proti korozi a působení vlhkosti a je v krabičce pevně zafixována. Rovněž celá krabička je komplexně ošetřena tak, aby do ní bylo zabráněno vniknutí vody, případně jiných látek, které by mohly způsobit poškození elektronické desky se snímači. Jednotlivé měřicí uzly jsou navzájem propojeny 4 žilovým vodičem, který slouží jednak k napájení těchto uzlů a jednak pro komunikaci pomocí protokolu RS 485. Vzdálenost mezi jednotlivými měřicími uzly je možno volit v závislosti na požadavku konkrétního měření, v našem případě jsme zvolili vzdálenost 10 m. Hloubka testovacího vrtu pro tepelná čerpadla má délku 130m, bylo v ní instalováno 15 ks měřicích

uzlů. Celková navržená konstrukce je samonosná, tzn. že kompletní měřicí sada visí na 4 žilovém kabelu. Uchycení jednotlivých měřicích uzlů a vlatní instalace do vrtu jsou patrné z fotografií uvedených v příloze.

Použitá čidla pro měření teploty

Měření teploty je prováděno v různých teplotních rozsazích a z toho důvodu je vhodné vybrat příslušné teplotní senzory tak, aby splňovaly především tento předpoklad. Pro měření vyšších teplot (haldy), kde například může dojít k požáru je nutno použít čidla, která dokáží měřit vysoké teploty a odolat jim. Pro měření nižších teplot (geologické vrty) je dodávané spektrum senzorů ještě širší. V prvním případě jsou použita klasická čidla Pt100, s širokým rozsahem měřených teplot (viz. následující text a technické údaje o čidle v příloze), v druhém známé senzory teploty SMT 160-80 a DALLAS 18B20.

Pt100

Odporové platinové teplotní čidlo Pt100 se jeví pro své vlastnosti jako nejvýhodnější pro použití v popisované aplikaci. Kvůli odstranění chyb vedení je čidlo dodáváno se speciálním kabelem. Tyto čidla mění svůj odpor v závislosti na teplotě. Jako základní měřená teplota se většinou uvádí 0 °C (např. 100 Ω), přičemž odpor čidla se liší dle výrobců a jednotlivých druhů čidel. V malém rozsahu teplot jsou čidla lineární, jinak chyba teploty bývá kolem 0,4 °C. Citlivost bývá okolo 0,384 Ω / 1 °C. Většinou neměříme přímo odpor čidla, ale bývá zapojeno do odporového můstku a změna odporu je tím převedena na změnu proudu (napětí), jak bylo uvedeno výše v obecném úvodu do problematiky.

SMT 160-30

Tento senzor teploty je celokřemíkové čidlo teploty s digitálním výstupem. Jeho rozsah je mezi -45 až 150 °C. Díky zmíněnému digitálnímu výstupu ve formě TTL signálu s proměnlivou střídou, závislou na teplotě, je čidlo už několik let výhodně využíváno pro měření teploty procesory. Díky zabudovaným časovačům je převod na teplotu velmi jednoduchý. Chyby jsou pak způsobeny přesností a rychlostí taktu procesoru a jeho časovače, dále řadou možností, jak naprogramovat procesor pro převod. Vzhledem k použití vyspělého procesoru Atmel se dvěma časovači je měření prováděno 100x a výsledek spočítán jako aritmetický průměr. Dále je hodnota upravena o vypočtenou chybu, která je závislá na počtu měření a tudíž úplně odstraněna. Senzor je také vyráběn v různých provedeních, od robustního TO220 po SMT provedení. Příkon čidla je pod 1mW. Napájecí napětí je mezi 7,75 – 7 V. Výstup je možno zapojit přímo na kterýkoli pin procesoru, přičemž je více než výhodné využít přímo pinu, který kontroluje alespoň jeden z časovačů procesoru.

DALLAS 18B20

Čidlo DALLAS bylo vybráno jako druhé čidlo pro měření teploty. Stejně jako SMT 160-30 obsahuje pouze napájení kontakty a jeden kontakt jako výstup. Ten lze zapojit opět přímo na pin procesoru, tentokrát je výběr libovolný, protože informace o teplotě je zpracována s příslušnou tolerancí přímo v senzoru a zaslána jako digitální 2 bytová informace nadřazené jednotce (v našem případě procesor). Navíc DALLAS umožňuje spojení výstupů více čidel, podporujících tuto technologii a vytváří se tak jednoduchá jednodrátová sběrnice, kde každé čidlo má svou specifickou adresu, může být různě nastaveno (viz. technická data v příloze). Měřený rozsah je mezi -55 a 125 °C s přesností čidla ±0,5 °C a možností vybrat

přesnost výstupního údaje mezi 9 až 12 bity. Doba měření a zpracování dat je kolem 750 ms. Senzor je možno naprogramovat pro hlídání mezí, pokud se překročí, oznamuje to senzor alarmem pro nadřazený systém (procesor). Rozsah napájecího napětí je mezi 3,3 až 5,5 V. Odběr senzoru je opět minimální. Běžně jej lze pořídit v provedení TO92 (v našem případě) a v SMD.

Využití posledních dvou senzorů je tedy z hlediska náročnosti měření teplot více než vhodné. Při srovnání měření byly zjištěny odchylky teplot v rámci tolerance hodnot změřených čidly, čili kolem 1 °C.

11. Závěr

Výstup dosavadního výzkumu bude sloužit k optimalizaci dimenzování vrtného pole – tzn. určení optimálního počtu vrtů, hloubky vrtů a způsobu jejich rozmístění. Tento výstup bude využit m.j. pro zpracování projektu vytápění auly a CIT TU VŠB v Ostravě pomocí tepelných čerpadel s vrty.

Celý tento projekt bude mít pro univerzitu dalekosáhlé přínosy, a to nejen z hlediska úspory nákladů za vytápění. Bude se jednat o zatím největší objekt v České republice vytápěný tepelnými čerpadly a v souvislosti s odborně-vědeckým zázemím univerzity bude představovat dlouhodobý potenciál pro:

- výzkum teplotního chování horninového masivu měřením teplot ve velkém souboru vrtů,
- další zdokonalení teoretických základů pro přenos tepla z hornin do vrtu,
- vývoj, resp. zdokonalení čidel pro měření teplot ve vrtech,
- vývoj, resp. zdokonalení mobilních aparatur pro polní měření tepelných vlastností hornin,
- vývoj, resp. zdokonalení metodiky polních zkoušek ve vrtech,
- spolupráci s předními světovými odborníky v této problematice,
- výuku studentů a výchovu vědecko-odborných pracovníků univerzity,
- demonstraci moderního systému vytápění pro odbornou i laickou veřejnost.

12. Seznam literatury

- [1] Eskilson P., 1987: Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes. Sborník referátů, University of Lund, Švédsko.
- [2] Hellström G., Sanner B., 2000: Earth Energy Designer, Version 2.0. Uživatelský manuál, University of Lund, Švédsko.
- [3] Geothermal Resource Technologies, Inc., 2003: Formation Thermal Conductivity Test and Data Analysis. Webové stránky firmy.
- [4] Gehlin S., 2002: Thermal Response Test. Doctoral thesis, Lulea University of Technology.
- [5] Busso A., Georgiev A., Roth P., 2003: Underground Thermal Energy Storage – First Thermal Response Test in South America, referát RIO 3 – World Climate & Energy Event.
- [6] Grmela A., Aldorf J., 2005: VŠB – Technická univerzita Ostrava, aula + CIT vrtů pro tepelná čerpadla na parc. č. 1738/30 a 1738/37, k.ú. Poruba. Projekt vodního díla pro územní rozhodnutí a stavební povolení.
- [7] Ryška J., 2005: Prováděcí projekt vrtů pro tepelné čerpadlo č. DPV – 047-02-03-2005. OKD, DPB, a.s.
- [8] Belica P., Křupka J., 2004: Aula a CIT VŠB - TU Ostrava – Poruba. Energetický audit.
- [9] Mareš S. a kol., 1979: Úvod do užití geofyziky, SNTL Praha.
- [10] Svoboda J. a kol. 1983: Encyklopedický slovník geologických věd. ACADEMIA Praha.
- [11] Rybach L., Sanner B., 2000: Ground – Source Heat Pump Systems: The European Experience, GHC Bulletin.
- [12] Žeravík A., 2003: Stavíme tepelné čerpadlo. Vydáno vlastním nákladem.
- [13] Dvořák Z., 1986: Základy chladicí techniky. SNTL Praha.
- [14] Spitler J. D., Rees S. J., Yavuzturk C., 2002: Recent Developments in Ground Source Heat Pump System Design, Modelling and Applications. Referát z webových stránek IGSHA.
- [15] Stiebel-Eltron, 2002: Tepelná čerpadla. Projektování a instalace. Firemní technické podklady.
- [16] Oklahoma State University, 1988: Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems. Installation Guide.
- [17] Jakeš P., 1984: Planeta Země. Mladá fronta Praha.
- [18] Bráza A., Jenčík J.: Technická měření, ČVUT Praha, 1996
- [19] Kreidl M.: Měření teploty – Senzory a měřicí obvody, BEN, Praha 2005
- [20] Měření a regulace teplot v teorii a praxi, sborník přednášek, Ostrava 2005
- [21] HAJOVSKÝ R.; HORÁK B.; SROVNAL V. JR. : Měření teplot v hloubkových sondách odvalů po důlní činnosti, měření teplot v podpovrchových vrtech, Sborník: Měření a regulace teplot v teorii a praxi, p.171–179, Tanger s.r.o., Vol. I, Ostrava (2005), ISBN 80-86840-12-3
- [22] SWAN T. : Mistrovství v Delphi 4, Computer Press Brno, Brno (1999), ISBN 80-7226-173-8
- [23] MICROSYS s.r.o : Dokumentace SCADA systém Promotic 6, www.microsys.cz

13. Přílohy:

Stručná geologická charakteristika širšího okolí sledované lokality

Sledovaná lokalita se nachází na území tzv. kvartéru Ostravska a oderské části Moravské brány (Macoun, J. a kol., 1965). Orograficky náleží dvěma soustavám Českému masivu a Západním Karpatům. Z Českého masivu do něho zasahují Východní Sudety Nízkým Jeseníkem a část oderské nížiny, jejíž analogií na polském státním území je tzv. Nizina Śląska (Kondracki, J., 1961). Z karpatské soustavy do studovaného území patří z beskydského oblouku západokarpatského tzv. podbeskydská pahorkatina a z vněkarpatských pánví čelních hlubin ostravská glacigenní pánev a Moravská brána (Hromádka, J., 1956).

Uvedená území jsou s přihlédnutím k orografickému třídění rozdělena do pěti větších celků. Jsou to: hlučínská tabule, ostravská glacigenní pánev, Nízký Jeseník, podbeskydské pahorkatiny a oderská část Moravské brány (viz obr. č. 1).

Lokalita VŠB-TUO se nachází na styku tří těchto celků a to Nízkého Jeseníku, hlučínské tabule a ostravské pánve.

Ostravská glacigenní pánev zahrnuje široké holocenní nivy Odry, Ostravice a Olše a mírně zvlněnou rovinu orlovské tabule. Tvoří samostatnou, ze všech stran přirozeně omezenou jednotku, jejíž převážná část zaujímá orlovská tabule. Ta je na Z ohraničena Odrou, na S a na V holocenní nivou Olše a na J zhruba údolím Lučiny až k jejímu soutoku se Sušankou a odtud dále na V údolím Sušanky.

Hlučínská i orlovská tabule představují geomorfologicky celek mírně zvlněné roviny s průměrným výškovým rozpětím kolem 20 m a se střední nadmořskou výškou 270 m. Ve tvarovém rázu jejich povrchu jsou zastoupeny prvky rovinného a pahorkatého reliéfu. Základní rysy povrchových tvarů byly vtisknuty těmito územím akumulací a modelační činností sálského kontinentálního ledovce a v době po jeho definitivním ústupu erozí, fluvialní, eolickou a deluviální sedimentací za periglaciálního klimatu a i pozdější holocení denudací a převážně fluvialní a deluviální akumulací. Nejtypičtějšími tvary jejich povrchu jsou členitá, pahorkovitá pásma hlučínské náporové morény. Více nebo méně rozsáhlé plošiny mezi nimi představují většinou někdejší jezerní pánve, vyplněné glacialakustrinními a při okrajích i glacifluviálními sedimenty. Široká plochá údolí větších vodních toků jsou pokryta převážně šterkovými uloženinami.

Do území Nízkého Jeseníku zahrnujeme moravickou plošinu, budovanou kulmskými horninami, spolu s Oderskými vrchy a jejich okrajovými částmi, které jsou již vesměs pokryty mořskými sedimenty spodního tortonu. V reliéfu tohoto území jsou zastoupeny prvky pahorkatého, místy i horského, ale také rovinatého reliéfu o střední nadmořské výšce 380 m. Jeho okrajové části jsou prořezány předkvartérními hlubokými erozními údolními, v nichž se - podobně jako na svazích pohoří - ještě místy uplatňoval vliv akumulací i modelační činnosti kontinentálního ledovce.

Hydrografie. – Hydrograficky spadá území Ostravska a oderské části Moravské brány do povodí Odry. Z orlovské tabule jsou odváděny povrchové vody Ostravicí a Olší a jejich přítoky (zejména Lučinou). Na hlučínské tabuli probíhá po hřbetové čáře hlavního pásma hlučínské náporové morény rozvodí mezi řekami Opavou a Cynou. Opava odvodňuje svými drobnými přítoky většinu j. poloviny tabule, zatímco ze s. části území odvádí vody Koberický potok do Cyny, která je levým přítokem Odry.

Území Nízkého Jeseníku je v sv. části protékáno Moravicí, která ještě spolu s potoky Sedlinkou, Ohrozimou, Hrabyňkou a Plesenským potokem je pravým přítokem Opavy. Jihovýchodní část tohoto území je odvodňována Porubkou, Bílovkou a Husím potokem přímo do Odry. Z podbeskydské pahorkatiny jsou odváděny povrchové vody drobnými přítoky Olše, Ostravice s Morávkou, Ondřejnice, Lubiny, Sedlnice a Jičínky. Oderskou část Moravské brány protéká Odra, která ji odvodňuje spolu se svými přítoky, vytékajícími z podbeskydských pahorkatin a z Oderských vrchů.

Klimatické poměry. – Z klimatologického hlediska patří Ostravsko a oderská část Moravské brány k mírně teplým a mírně až velmi vlhkým oblastem. Převážná část hluchínské tabule a jv. část Nízkého Jeseníku se zhruba vyznačují mírně teplým a mírně vlhkým podnebím. Ostravská glacigenní pánev a oderská část Moravské brány patří k okrskům mírně teplým, ale vlhkým. V podbeskydských pahorkatinách převládá mírně teplé a velmi vlhké podnebí.

Vyjma Opavska, sudického výběžku a Krnovska, kde je roční srážkový průměr jen o něco větší než 600 mm (až do 650 mm), dosahuje průměrné množství ročních srážek v největší části studované oblasti 650-800 mm. Tak na hluchínské tabuli činí roční srážkový průměr 700 mm a téměř v celé ostravské glacigenní pánvi i v oderské části Moravské brány až 800 mm. Nejvlhčí jsou jv. cíp ostravské glacigenní pánve a podbeskydské pahorkatiny, v nichž se pohybuje roční srážkový průměr mezi 800 až 1000 mm.

Průměrná lednová teplota je v největší části území -3°C , v úzkém pruhu při státní hranici -2°C a na parovině Nízkého Jeseníku a v podbeskydských pahorkatinách místy -4°C .

Průměrná červencová teplota dosahuje na hluchínské tabuli, v ostravské glacigenní pánvi a v sv. polovině oderské části Moravské brány 18°C , v okrajových částech Nízkého Jeseníku, v jz. polovině oderské části Moravské brány a zčásti v podbeskydských pahorkatinách 17°C . Nejnižších hodnot dosahuje teplota na parovině Nízkého Jeseníku a zčásti v podbeskydských pahorkatinách, kde činí červencový průměr 16°C .

Roční průměr teploty činí na hluchínské tabuli, v ostravské glacigenní pánvi, v sv. polovině oderské části Moravské brány a v s. části podbeskydských pahorkatin 8°C . Ve zbývajících částech oblasti je průměrná roční teplota 7°C . Nejnižší hodnoty 6°C jsou vázány jen na některá místa na parovině Nízkého Jeseníku a na její jižní části podbeskydských pahorkatin.

Stručný přehled geologické stavby skalního podkladu

Širší vymezení území Ostravska a oderské části Moravské brány náleží jak již bylo výše uvedeno ke dvěma geologickým soustavám Českého masivu a Západních Karpat.

Oba celky jsou od sebe odděleny karpatskou předhlubní, z velké části vyplněnou marinními, třetihorními sedimenty, překrytými pleistocenními uloženinami.

Předdevonské krystalinické horniny. – Krystalinické horniny předdevonského stáří jsou zastoupeny pouze v nejzápadnější části území, kde částečně tvoří podloží devonským horninám. Jsou tvořeny převážně chloritickými ortorulami a kontaktními horninami, vázanými na okolí žulových plutonů Rychlebských hor.

Devon. – Devonské horniny, zejména horniny vrbenského a šternbersko-hornobenešovského pruhu v Jeseníkách, jsou zastoupeny téměř ve všech pleistocenních sedimentech v s. předpolí Nízkého a Hrubého Jeseníku.

Devon Jeseníku vystupuje ve dvou pruzích, v pruhu šternbersko-hornobenešovském a v pruhu vrbenském. Oba se liší hlavně stupněm metamorfózy. Zatímco devonský pruh vrbenský je výrazně epizonálně metamorfován, je pruh šternbersko-hornobenešovský nemetamorfován a pouze stlačen.

Spodní karbon. – Spodnokarbonské horniny tvoří podstatnou část hornin předkvartérního podkladu na území Ostravska a oderské části Moravské brány, a proto silně ovlivňují petrografické složení pleistocenních sedimentů.

Na zkoumaném území jsou spodnokarbonské horniny vyvinuty ve vývoji flyšovém a terigenním, přičemž obě facie jsou navzájem spjaty přechody. Stratigraficky rozčlenil souvrství spodního karbonu již (Patteisky, K., 1929), který zde rozlišil jako nejstarší člen vrstvy andělskohorské, skládající se z tmavých až černých jílovitých břidlic s polohami jemnozrnných drob, ve spodních polohách s vložkami křemenců.

Další člen, hornobenešovské vrstvy, je zastoupen masivními zelenošedými drobami, vyvinutými v úzkých lavicích a obsahujícími břidličné vložky. Na jejich bázi se lokálně objevují slepence.

Moravické posidoniové břidlice jsou reprezentovány tmavě šedými pelitickými sedimenty, často používanými jako pokrývačské břidlice.

Hradecké droby, podobné drobám vrstev hornobenešovským, vystupují v souvislých lavicích s podřadnými vložkami břidlic. Převažují hrubě zrnité psamity; slepence, tvořící báze rytmů, obsahující kromě valounů křemene i valouny z pevných krystalických břidlic a valouny břidlic a drob starších spodnokarbonských souvrství.

Bílovecké vrstvy jsou tvořeny modrošedými až černými pelitickými sedimenty s vložkami pískovců.

Nejmladším souvrstvím spodního karbonu jsou vrstvy hlučinské, tvořící přechod k uhlonosným vrstvám ostravského produktivního karbonu a litologicky tvořené drobami a pískovci s vložkami šedých břidlic.

Svrchní karbon. – Na Ostravsku tvoří přímé podloží čtvrtohorních sedimentů jen poměrně malé plochy. Výchozy hornin produktivního karbonu jsou na Ostravsku zejména v území mezi Petřkovicemi a Karvinou.

Západní Karpaty

Zatímco se v předpolí Jeseníků jako místní složka uplatňují ve složení pleistocenních sedimentů horniny jesenického krystalinika a sedimentární horniny kulmské, je petrografické složení pleistocenních uloženin ve střední a východní části Ostravska silně ovlivněno horninami karpatské soustavy. Hranici mezi horninami beskydskými a kulmskými v ledovcových sedimentech tvoří dnešní tok řeky Odry. Horniny obou vrstev se v glacilakustrinních sedimentech spolu nemísí. K míšení hornin obou soustav dochází pouze u

terasových stupňů řeky Odry, ojediněle byly beskydské pískovce zjištěny na západu od Odry v glacifluviálních a glacilakustrinních sedimentech na některých lokalitách na Hlučínsku. Sedimenty zde však mohou být v duhotném uložení, zejména jako fluviální valouny přemístěné ledovcem.

Západní Karpaty jsou ve zkoumané oblasti tvořeny dvěma hlavními tektonickými celky: karpatskou neogenní čelní hlubinou a vnějším flyšovým pásmem Moravskoslezských Beskyd. Vnější flyšové pásmo se dále dělí na dílčí tektonické série – podslezskou a slezskou. Ve slezské sérii se ještě odlišují dva významné faciální vývoje, godulský (rozšířený hlavně na J a bašský. Styk obou dílčích tektonických jednotek je příkrovový, slezská série je nasunuta na sérii podslezskou. Obě jednotky jsou potom nasunuty na neogén karpatské čelní hlubiny. Autochtonní podklad obou západokarpatských tektonických celků je tvořen paleozoickými horninami Českého masivu, hlavně horninami kulmského a svrchnokarbonského stáří.

Kvartérní sedimenty širšího území Ostravska a oderské části Moravské brány

Území Ostravska a oderské části Moravské brány spolu se s. podhůřím Nízkého i Hrubého Jeseníku patří svými mocně vyvinutými čtvrtohorními pokryvy ke klasickým kvartérním oblastem Česka. Čtvrtohorní sedimenty zde dosahují mocnosti až kolem 100 m a zahrnují celou řadu genetických typů rozličné litologie i různého stáří, a to od starého pleistocénu až do holocénu. Z hlediska kvartérní geologie patří tedy posuzovaná oblast mezi nejkomplicovanější území našeho státu.

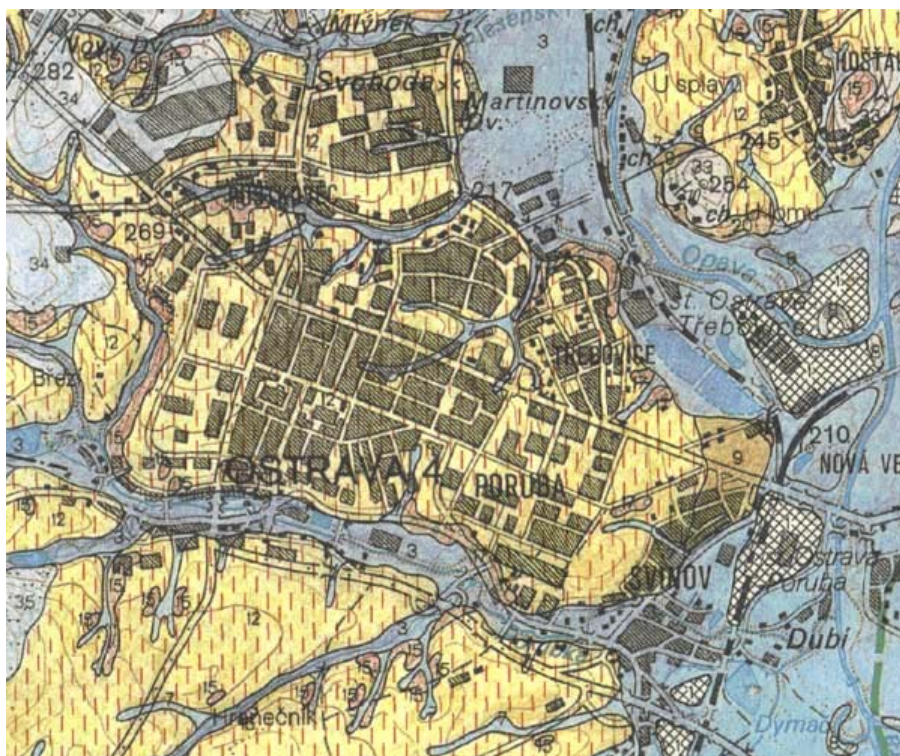
Z pleistocenních sedimentů jsou nejdůležitější jak co do plošného rozšíření a mocností, tak i co do stratigrafického významu uloženiny halštrovského i sálského kontinentálního zalednění, sedimenty fluviální uloženiny halštrovského i sálského kontinentálního zalednění, sedimenty fluviální, eolické a organické. Z ostatních sedimentů pleistocenního stáří jsou zastoupeny v území Ostravska a oderské části Moravské brány uloženiny deluviální, proluviální a organogenní.

Z holocenních sedimentů jsou běžně rozšířeny uloženiny ronové a splachové (deluviofluviální). Hojně jsou zastoupeny holocenní sedimenty fluviální. Vzácnější jsou výskyty organických a organogenních uloženin.

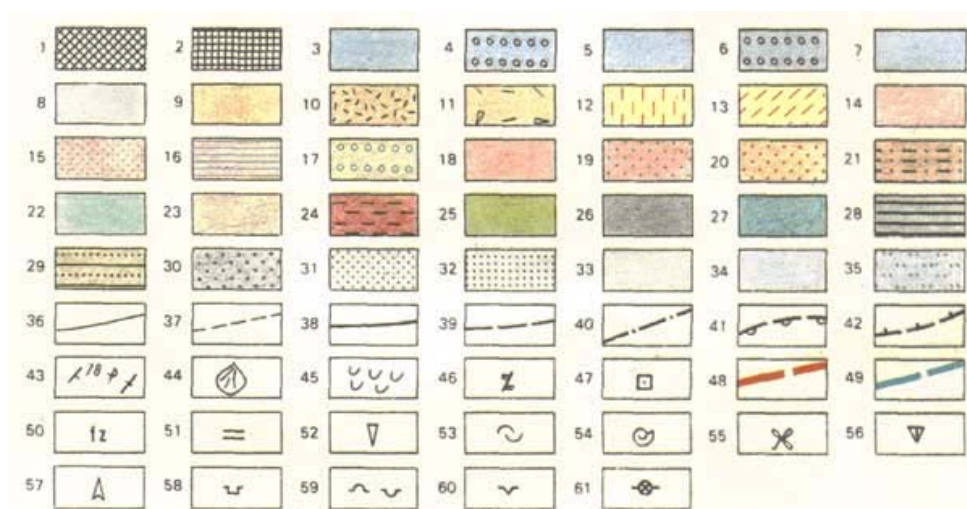
Sedimenty kontinentálního zalednění

Genetické typy a litologie ledovcových sedimentů

Sedimenty, jejich vznik je vázán na akumulární činnost kontinentálního ledovce, se v zásadě dělí na tři genetické typy, rozlišované často pod různými názvy v jednotlivých oblastech zasažených kontinentálním zaledněním. Jsou to vlastní sedimenty ledovcové v užším slova smyslu neboli sedimenty glacigenní, dále sedimenty ledovcových jezer, uložené v době ledovcového postupu nebo ústupu a označované jako sedimenty glacilakustrinní, a konečně sedimenty ukládané vodami vytékajícími z ledovcového čela neboli glacifluviální.



Obr. 1. - Geologická mapa – list 15-43 Ostrava + legenda
M 1 : 50 000



KVARTÉR - holocén: 1 - antropogenní uloženiny (navážky); 2 - antropogenní uloženiny (haldy); 3 - fluvialní převážně písčitohlinité sedimenty nižšího nivního stupně; 4 - fluvialní písčité štěrky nižšího nivního stupně; 5 - fluvialní převážně písčitohlinité sedimenty vyššího nivního stupně; 6 - fluvialní písčité štěrky vyššího nivního stupně; 7 - deluviofluvialní hlinité sedimenty; 8 - hnílokaly a slatinné zeminy; 9 - deluvialní převážně hlinité sedimenty;

holocén - pleistocén: 10 - deluvialní převážně kamenitohlinité sedimenty; 11 - deluvialní převážně kamenité sedimenty s bloky;

pleistocén: 12 - sprašové hlíny; 13 - deluvioeolické sedimenty; 14 - tilly (sálské zalednění s.s.); 15 - glacifluviální pisky a písčité štěrky (sálského zalednění s.s.); 16 - glacialakustrinní převážně jílovité sedimenty (sálské zalednění s.s.); 17 - fluvialní písčité štěrky nečleněné hlavní terasy a 20 m terasy (svrchní elster až spodní saale); 18 - tilly (elsterské zalednění); 19 - glacifluviální pisky a písčité štěrky (elsterské zalednění);

Eluvia (převážně terciárního stáří): 20 - převážně písčité eluvia hornin hradecko-kyjovského souvrství a ostravského souvrství;

TERCIÉR - miocén vněkarpatské předhlubně: 21 - mořské vápnité jily a pisky (spodní baden, moryat); 22 - pisky a jily (karpát);

MEZOZOIKUM - TERCIÉR (vněkarpatské příkrovy): podslezská jednotka:

23 - menilitové souvrství, tmavohnědé jily, jílovce, pískovce a rohovce (spodní oligocén-kiscel); 24 - třinecké souvrství (třinecké vrstvy s.s. a gutské vrstvy), jily, jílovce, pisky a pískovce (senon až svrchní eocén); 25 - frýdecké vrstvy, šedé prachovce a pískovce (senon až paleocén);

slezská jednotka, společné členy: 26 - těšínsko-hradištské souvrství, drobně až středně rytmický flyš (berrias až spodní apt); 27 - vyvěřeliny těšínské asociace, pikrit, diabas, těšínské; godulský vývoj;

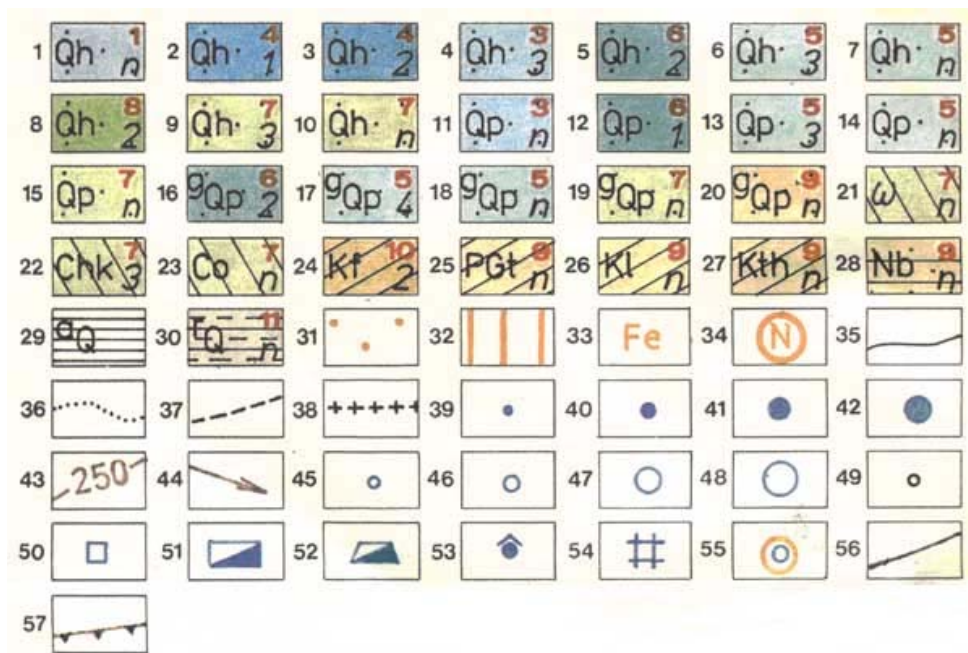
28 - lhotecké souvrství, šedé skvrnité jílovce a pískovce, částečně s rohovci (alb); bašský vývoj; 29 - bašské vrstvy, jílovce a pískovce s rohovci (alb až senon);

PALEOZOIKUM - svrchní karbon - ostravské souvrství (namur A): 30 - porubské vrstvy, pískovce; 31 - jaklovecké vrstvy, prachovce a pískovce; 32 - hrušovské vrstvy, pískovce a jílovito-prachovité sedimenty; 33 - petřkovické vrstvy, pískovce, prachovce a jílovce (na bázi pozvolný přechod z kyjovických břidlic), namur A, spodní karbon (svrchní visé, zóna Go až báze namuru A); 34 - hradecko-kyjovické souvrství: střídání břidlic, prachovců a jemnozrnných drob; 35 - hradecko-kyjovické souvrství; droby;

36 - hranice stratigrafických jednotek a genetických typů sedimentů; 37 - pravděpodobná hranice stratigrafických jednotek; 38 - známý průběh zlomu; 39 - zlom předpokládaný; 40 - zlom zakrytý mladšími útvary; 41 - hranice karpatské příkrovové stavby; 42 - hranice mezi příkrovy; 43 - známka polohy vrstev; 44 - výplavový kužel; 45 - sesuv, sesuvné území; 46 - glacitektonické zjevy; 47 - eratika severských hornin; 48 - předpokládaná hranice maximálního rozsahu sedimentů kontinentálního zalednění; 49 - předpokládaná hranice průběhu přehloubené subglaciální deprese; 50 - fosilní zvětralina; 51 - pohřbené fosilní půdy; 52 - mrazový klín; 53 - kryoturbace; 54 - fosilní malakofauna; 55 - fosilní flóra; 56 - paleolitická stanice (Landek); 57 - paleolitická industrie; 58 - opuštěný lom; 59 - hliniště (v provozu, opuštěné); 60 - opuštěná pískovna; 61 - opuštěná štěrkovna.



Hydrogeologická mapa – list 15-43 Ostrava
M 1 : 50 000



TYP HYDROGEOLOGICKÉHO PROSTŘEDÍ A JEHO KVANTITATIVNÍ CHARAKTERISTIKA: Na mapě jsou podkladovou šrafou znázorněny typy hydrogeologického prostředí a směrem podkladové šrafy způsob jejich uložení. Barva v ploše zobrazuje základní kvantitativní charakteristiku zvodněného kolektoru - transmisivitu (průtočnost), která vyjadřuje schopnost zvodněného kolektoru propouštět určité množství podzemní vody a přibližně také naznačuje jeho vodohospodářskou využitelnost. Transmisivita je vyjádřena barvou vyplývající z odhadnuté (podle indexu transmisivity Y) anebo zjištěné převládající hodnoty koeficientu transmisivity T [$m^2 \cdot s^{-1}$]. V mapě použité barvy a jim odpovídající velikost převládající transmisivity vymezují území s různými předpoklady pro vodohospodářské využití podzemních vod (viz tabulka legendy). Plošná proměnlivost transmisivity je vyjádřena odstínem barvy, který se řídí velikostí směrodatné odchylky indexu transmisivity s_y . Hodnota směrodatné odchylky s_y je vyjádřena černými číselnými indexy 1 až 4, případně n: $s_y < 0,3$ index 1, $s_y 0,3-0,6$ index 2, $s_y 0,6-0,9$ index 3, $s_y > 0,9$ index 4, s_y nelze stanovit - index n. Snazší rozlišení barev a jejich odstínů umožňují červené číselné indexy 1 až 12, z nichž sudé označují silnější odstín (kolektory s nízkou variabilitou transmisivity - černé indexy 1 a 2) a liché slabší odstín (kolektory s vysokou nebo neznámou variabilitou transmisivity - černé indexy 3 a 4 nebo n). Stratigrafická příslušnost hydrogeologického prostředí nebo jeho převládající petrografický typ jsou vyznačeny zjednodušenými indexy.

Průlinový kolektor: fluvialní převážně písčitohlinité sedimenty (kvartér - holocén Qh, 1 - 10): 1 - přehloubená subglaciální deprese zábrežského koryta: $T > 6,10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; 2 - nižší nívní stupeň Opavy: $T 8,51 \cdot 10^{-4} - 2,82 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,26$; 3 - a) dtto Odry: $T 1,23 \cdot 10^{-3} - 1,17 \cdot 10^{-2} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,49$; b) dtto Ostravice pod Paskovem: $T 4,57 \cdot 10^{-4} - 3,81 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,46$; 4 - údolí dolního toku Lubiny: $T 3,09 \cdot 10^{-4} - 5,37 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,62$; 5 - nižší nívní stupeň Ostravice nad Paskovem: $T 6,3 \cdot 10^{-5} - 1,6 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,59$; 6 - údolí Lučiny: $T 2,6 \cdot 10^{-5} - 1,1 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,81$; 7 - údolí Porubky, Polančice, Plesenského a Lužního potoka a údolí dolních toků Seziny, Jamníku, Bilovky, Trnávky a Ondřejnice: $T 1,10^{-4} - 1,10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; 8 - a) údolí Lubiny nad Petřvaldem: $T 2,2 \cdot 10^{-5} - 2,3 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,51$; b) údolí Ondřejnice nad Starou Vsí: $T 2,3 \cdot 10^{-5} - 1,1 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,33$; 9 - vyšší nívní stupeň Ostravice: $T 1,41 \cdot 10^{-5} - 3,89 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,72$; 10 - údolí horních toků Seziny a Bilovky: $T 1,10^{-5} - 1,10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; fluvialní písčité a štěrkovité sedimenty vyšších teras (kvartér - pleistocén Qp, 11 - 15): 11 - zábrežská terasa v prostoru přehloubené subglaciální deprese zábrežského koryta: $T 1,10^{-3} - 6,10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; 12 - hlavní terasa Odry u Petřvaldu: T (dle analogie s listem 25-21) $1,8 \cdot 10^{-4} - 5,6 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,25$; 13 - zábrežská terasa: $T 1,74 \cdot 10^{-4} - 4,17 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,69$; 14 - nečleněná hlavní terasa Odry: $T 1,10^{-4} - 1,10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; 15 - kuncická terasa s příměsí organických sedimentů: $T 1,10^{-5} - 1,10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; glaciální sedimenty (kvartér - pleistocén Qp, 16 - 20): 16 - glaci-fluvialní pisky a písčité štěrky u Petřvaldu: T (dle analogie s listem 25-21) $5,8 \cdot 10^{-5} - 6,9 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,54$; 17 - a) dtto na levém břehu Odry mezi Studénkou a Porubou: $T 5,62 \cdot 10^{-6} - 9,77 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 1,12$; b) dtto mezi Vyskočovicemi a Krmelínem: $T 1,05 \cdot 10^{-5} - 7,94 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,94$; c) dtto v j. výběžku Hlučinské pahorkatiny: $T 8,91 \cdot 10^{-6} - 8,51 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,99$; 18 - dtto v ostatních výskytech: T (odhad) $1,10^{-5} - 1,10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; 19 - glaci-fluvialní pisky a štěrky s podílem glaciakustrinních jílovitých sedimentů: T (odhad) $5,10^{-6} - 1,10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; 20 - tily: T (odhad) $1,10^{-6} - 5,10^{-5} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit;

puklinový kolektor s proměnlivým podílem průlinové porozity v přípovrchové zóně zvětřalin a rozvěření puklin: 21 - vyvěřliny těšínové asociace (ω): T (odhad) $1,10^{-5} - 1,10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; 22 - břidlice, prachovce a droby hradecko-kyjovického souvrství (Chk): $T 5,62 \cdot 10^{-6} - 1,35 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, $s_y = 0,69$; 23 - pískovce, prachovce a jílovce ostravského souvrství (Co): T (dle analogie) $1,10^{-5} - 1,10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit;

regionální izolátor, v němž se jako kolektor uplatňuje jen přípovrchová zóna zahrnující svahové uložení s přilehlým pásmem podpovrchového rozvolnění hornin: 24 - prachovce a pískovce třineckého souvrství (PGT), 26 - jílovce lhotického souvrství (Kl) a 27 - drobné rytmicky flyš těšínsko-hradišského souvrství (Kth): T (odhad) $1,10^{-6} - 1,10^{-5} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit;

nepravidelné střídání většího počtu izolátorů a průlinových vrstevových kolektorů: 28 - jíly a pisky miocénu karpatské předhlubně (Nb): T (odhad) $8,10^{-7} - 5,10^{-5} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit;

prostředí s nevyhraněnou hydrogeologickou funkcí: 29 - antropogenní uložení - haldy, navažky, plošné deponie, uhelné kaly, skládky (Q): T (odhad) $1,10^{-5} - 1,10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit; 30 - hnílokaly a slatinné zeminy (Q): $T < 1,10^{-6} m^2 \cdot s^{-1}$, s_y nelze stanovit;

KVALITA PODZEMNÍ VODY Z HLEDISKA VYUŽITELNOSTI PRO ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU je vyjádřena v kategoriích jakosti I až III a s přihlédnutím k ukazatelům ČSN 75711. Území s vyhovující kvalitou vody (I. kategorie) nevyžadující kromě dezinfekce a mechanického odkyselení úpravu je bez oranžového rastru. V územích s vodami II. a III. kategorie vyznačených oranžovým rastru je symboly znázorněna regionální přítomnost kritických složek podmiňujících zhoršenou kvalitu podzemní vody. Ojedinelá přítomnost jedné z kritických složek, která pouze lokálně zhoršuje o stupeň vymezenou kvalitu vody, je vyznačena jen oranžovým symbolem. Hlavními kritérii pro vylčení území s vodami II. a III. kategorie jsou tyto koncentrace rozhodujících složek (upraveno podle Žáčka 1981):

II. kategorie: $Ca + Mg < 1 \text{ mmol} \cdot l^{-1}$ nebo $3,5-9 \text{ mmol} \cdot l^{-1}$, $Fe 0,3-30 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $Mn 0,1-1 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $NH_4 0,1-1 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $NO_3 15-50 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $NO_2 0,1-3 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $SO_4 250-500 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, celková mineralizace $< 0,1 \text{ g} \cdot l^{-1}$ nebo $0,6-1 \text{ g} \cdot l^{-1}$;

III. kategorie: $Ca + Mg > 9 \text{ mmol} \cdot l^{-1}$, $Fe > 30 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $Mn > 10 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $NH_4 > 1 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $NO_3 > 50 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $NO_2 > 3 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, $SO_4 > 500 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, celková mineralizace $> 1 \text{ g} \cdot l^{-1}$;

31 - území s výskytem podzemní vody vyžadující složitější úpravu (voda II. kategorie); 32 - území s výskytem málo vhodné nebo nevhodné podzemní vody (voda III. kategorie); 33 - symbol kritické složky podmiňující zhoršenou kvalitu podzemní vody v regionálním měřítku (M pro celkovou mineralizaci, N pro NO_3 , Fe pro Fe + Mn); 34 - symbol kritické složky lokálně zhoršující o stupeň vymezenou kvalitu podzemní vody;

HYDROGEOLOGICKÉ HRANICE: 35 - hranice typu hydrogeologického prostředí; 36 - hranice území s různou velikostí transmisivity nebo s různým stupněm variability transmisivity; 37 - hranice litostratigrafických jednotek; 38 - hlavní rozvodnice podzemní vody v první zvodni (upraveno podle Základní vodohospodářské mapy);

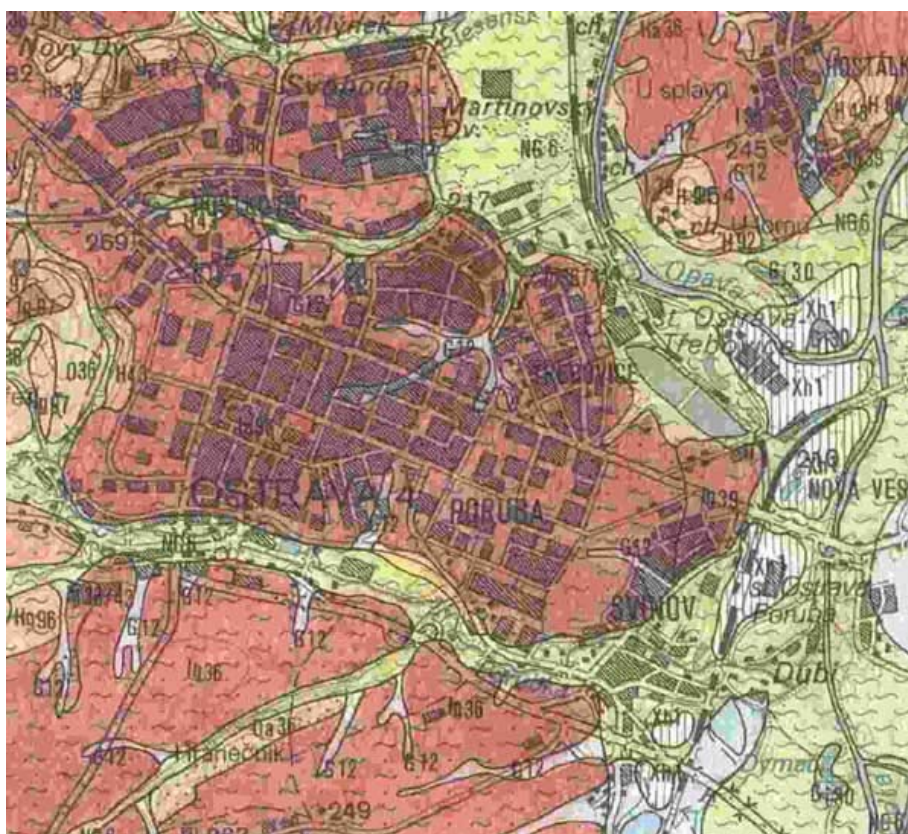
PRAMENNÍ VÝVĚRY (rozdílení podle průměrné vydatnosti Q [$l \cdot s^{-1}$]): 39 - Q do 0,1; 40 - Q 0,1 až 1; 41 - Q 1 až 10; 42 - Q nad 10;

DYNAMIKA PODZEMNÍCH VOD: 43 - předpokládaný průběh hydroizohyps první zvodně [m n. m.]; 44 - směr proudění podzemní vody v první zvodni;

UMĚLÉ HYDROGEOLOGICKÉ OBJEKTY: hydrogeologické vrty s provedenými přítokovými zkouškami jsou rozlišeny podle jednotkové specifické vydatnosti q [$l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$]: 45 - q do 0,1; 46 - q 0,1 až 1; 47 - q 1 až 10; 48 - q nad 10; číslo u značky vrtu (1 - 16) označuje vybraný vrt, jehož základní parametry jsou uvedeny v tabulce vysvětlujícího textu; 49 - vrt, který poskytl pouze informace o chemismu nebo úrovni hladiny podzemní vody; 50 - významná studna s hydrogeologickými údaji; 51 - jímací zářez; 52 - jímací štola; 53 - pramen zachycený jímkou; 54 - šachta s dokumentovaným přítokem podzemní vody;

MINERÁLNÍ VODY: 55 - výskyt natrium-chloridové jodobromové minerální vody ve vrtu;

STRUKTURNĚ-TEKTONICKÉ PRVKY: 56 - zlom zjištěný; 57 - výchoz násunové plochy karpatské příkrovové stavby.



Půdní mapa – list 15-43 Ostrava
M 1 : 50 000



PŮDNÍ JEDNOTKY: 1 – Xh - antropogenní půda haldová; 2 – Mg - hnědozem oglejená; 3 – I - illimerizovaná půda; 4 – Ig - illimerizovaná půda oglejená; 5 – O - pseudoglej; 6 – Oa - pseudoglej kyselý; 7 – H - hnědá půda; 8 – Ht - hnědá půda eutrofní; 9 – Hg - hnědá půda oglejená; 10 – Ha - hnědá půda kyselá; 11 – Hag - hnědá půda kyselá oglejená; 12 – Han - hnědá půda kyselá nevyvinutá; 13 – Ho - hnědá půda silně kyselá; 14 – H - hnědá půda na píscích a štěrčích; 15 – B - pelosol; 16 – Z - rezivá půda; 17 – N - nivní půda; 18 – NG - nivní půda glejová; 19 – G - glej; 20 – Gj - hydroglej.

PŮDOTVORNÉ SUBSTRÁTY: 1 – antropogenní sedimenty haldové a zavaliny; 6 – nivní uložení nekarbonátové střední; 12 – deluviofluviální uložení nekarbonátové střední; 18 – terasové štěrky nekarbonátové; 21 – výrazné skeletovité svahoviny z převážně neutrálního až kyselého materiálu; 30 – sapropely; 34 – hlinité spraše; 36 – sprašové hlíny; 37 – polygenetické hlíny karbonátové; 39 – polygenetické hlíny kyselé; 41 – fluvioglačiální štěrky nekarbonátové; 43 – fluvioglačiální písky nekarbonátové; 45 – tíl nekarbonátové; 47 – fluvioglačiální jílky nekarbonátové; 62 – předkvartérní písky nekarbonátové; 64 – zahliněné a zajižené předkvartérní písky nekarbonátové; 66 – předkvartérní jílky nekarbonátové; 70 – lávová bazická eluziva; 94 – pískovce (karbonské); 95 – slepence (karbonské); 96 – droby (karbonské); 97 – břidlice normální až fylitické (karbonské); 99 – jílovce (flyšovské); 100 – flyš v typickém vývoji - navápnitý; 106 – převážně fyzikální rozpady kyselých silikátových hornin.

Příklad tzv. dvojsubstrátu: 36/43 - sprašové hlíny uloženy na fluvioglačiálních píscích nekarbonátových.

Příklad čtení půdně-substrátové jednotky: Ig 36 - illimerizovaná půda oglejená na sprašových hlínách.

Geologická charakteristika sledované lokality

Toto území je z geologického hlediska situováno na západním okraji ostravské pánve, kde neogenní (miocénní) spodně tortonské sedimenty předhlubně Západních Karpat v Moravské Bráně postupně slabě vyклиňují na mírně se zvedající pahorek, tvořený moravskoslezským blokem spodního karbonu Českého masivu. Přirozený pokryv je tvořen kvarterními sedimenty včetně glacigenních.

Geologické poměry ověřené vrty pro tepelná čerpadla TC-VŠB 001/05 a TC-VŠB 002/05 jsou tyto:

kvartér

0,00m - 3,00m - žlutohnědý jíl konzistence tuhé při bázi s podílem šterku

3,00m - 13,00m - hrubozrnný písek s polohami hnědých drobnozrnných šterků, který přechází ve spodní polovině do zajílovaného šterkopísku. Poloha je nepravidelně zvodnělá.

13,00 - 14,00m - žlutohnědý zajílovaný písek

- polohu 3,0-14,0m řadíme mezi glacigenní sedimenty sálského zalednění

miocén

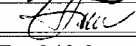
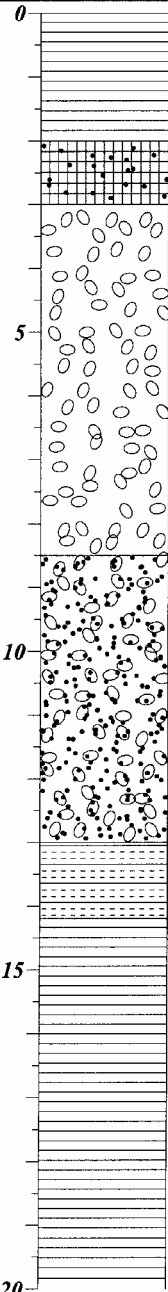
14,00 – 83,50m (62,00m) – šedý až zelenošedý monotónní vápnitý jíl mořského původu, konzistence tuhé až pevné bez písčitých vložek

spodní karbon – kyjovické vrstvy (svrchní visé)

83,50m- 130,00m – rytmicky se opakující tmavé jílovce s laminami až polohami prachovců a s nepravidelnými vrstvami jemnozrnných nevytříděných pískovců. Flyšový ráz je potlačen, převládá pelitický vývoj. Zvrstvení je horizontální . Sled má povahu mořské molasy.

Komplex spodnokarbonských sedimentů dosahuje v dané lokalitě mocnost několika kilometrů.

Ve vrtu TC-VŠB 001/05 byl v hl.105m navrtán silný přítok slabě mineralizované, sodno- bikarbonátové vody. Jde o vodu infiltrovanou do karbonského masivu z povrchu, mírně metamorfovanou průchodem přes horninové prostředí, viz obr.2.

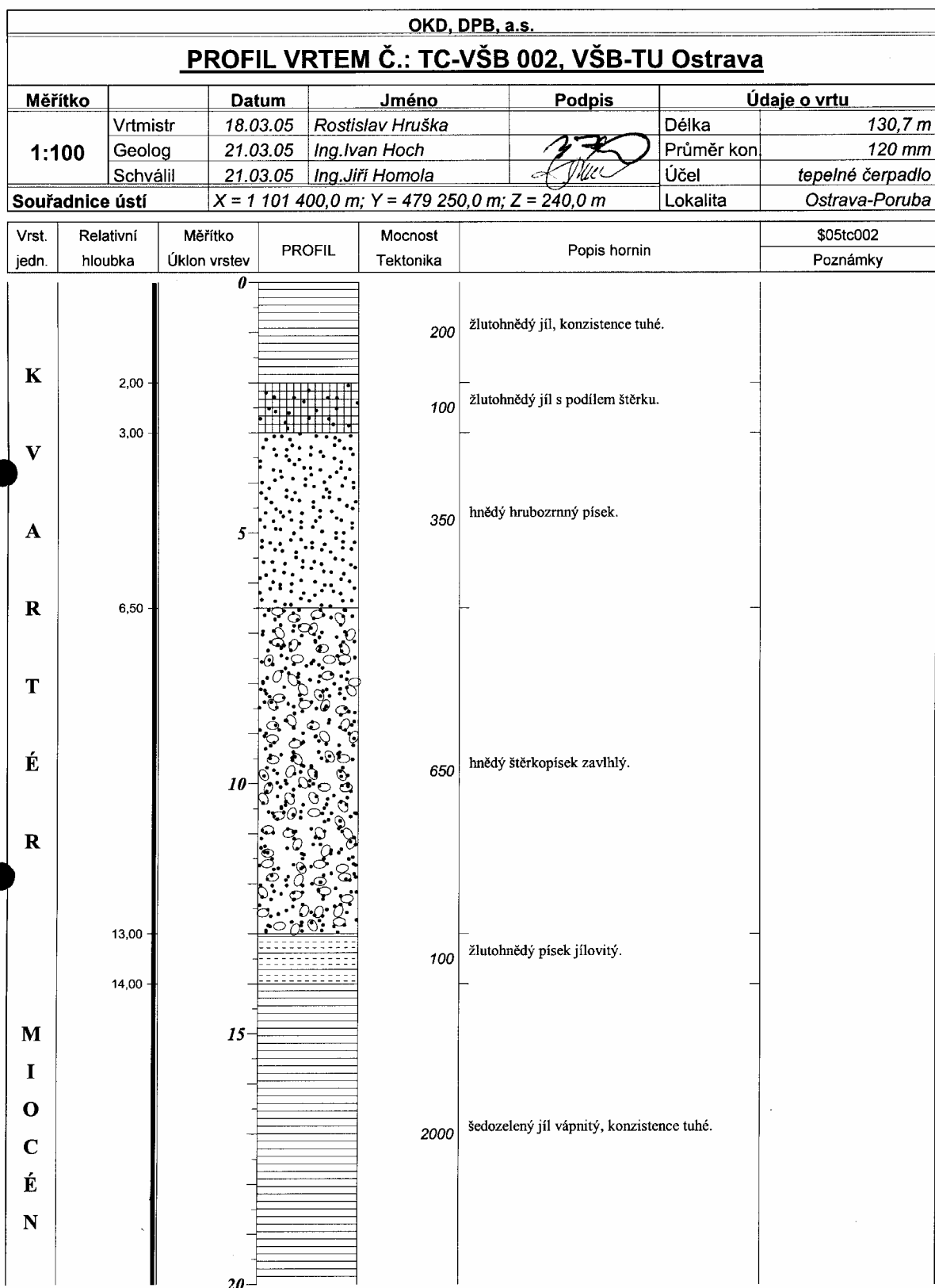
OKD, DPB, a.s.						
PROFIL VRTEM Č.: TC-VŠB 001, VŠB-TU Ostrava						
Měřítko		Datum	Jméno	Podpis	Údaje o vrtu	
1:100	Vrtmistr	16.03.05	František Hruška		Délka	130,7 m
	Geolog	21.03.05	Ing. Ivan Hoch		Průměr kon	120 mm
	Schválil	21.03.05	Ing. Jiří Homola		Účel	tepelné čerpadlo
Souřadnice ústí		X = 1 101 400,0 m; Y = 479 250,0 m; Z = 240,0 m			Lokalita	Ostrava-Poruba
Vrst. jedn.	Relativní hloubka	Měřítko Úklon vrstev	PROFIL	Mocnost Tektonika	Popis hornin	\$05tc001 Poznámky
K V A R T É R M I O C É N		0				
				200	žlutohnědý jíl, konzistence tuhé.	
	2,00			100	žlutohnědý jíl s podílem štěrku.	
	3,00					
		5		550	hnědý štěrk, valouny velikosti do 2 cm, zvodnělý.	
	8,50					
		10		450	hnědý štěrkopísek, slabě jílovitý.	
	13,00			120	žlutý písek jílovitý.	
	14,20					
		15				
				500	šedý jíl vápnitý, konzistence tuhé.	
	19,20			4280	šedý jíl vápnitý, od hloubky 24,0m zelenošedý, konzistence pevné.	
		20				

[illegible]

Vrst. jedn.	Relativní hloubka	Měřitko Úklon vrstev	PROFIL	Mocnost Tektonika	Popis hornin	\$05tc001 Poznámky
M I O C É N K A R B O N	62,00	45		4280	šedý jíl vápnitý, od hloubky 24,0m zelenošedý, konzistence pevné.	
		50				
		55				
		60				
		65		6870	šedočerný jílovec až prachovec s proplásky pískovce, v hloubce 97,0m pískovec křemenný.	
		70				

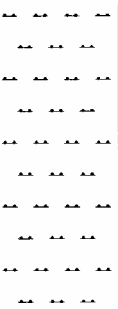
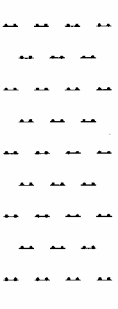
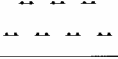
Vrst. jedn.	Relativní hloubka	Měřítka Úklon vrstev	PROFIL	Mocnost Tektonika	Popis hornin	\$05tc001 Poznámky
K			70			
A			75			
R			80			
B			85			
O			90			
N			95			

Vrst. jedm.	Relativní hloubka	Měřítka Úklon vrstev	PROFIL	Mocnost Tektonika	Popis hornin	\$05tc001 Poznámky
K			95			
A			100			
R		105,0	105			
B				6870	šedočerný jílovec až prachovec s proplásky pískovce, v hloubce 97,0m pískovec křemenný.	
O			110			
N			115			
			120			



Vrst. jedn.	Relativní hloubka	Měřitko Úklon vrstev	PROFIL	Mocnost Tektonika	Popis hornin	\$05tc002 Poznámky
M		20				
I		25				
O		30		2000	šedozelený jíl vápnitý, konzistence tuhé.	
C		34,00				
É		35				
N		40		2000	šedozelený jíl vápnitý, konzistence pevné.	
		45				

Vrst. jedn.	Relativní hloubka	Měřítko Úklon vrstev	PROFIL	Mocnost Tektonika	Popis hornin	\$05tc002 Poznámky
K			95			
A			100			
R			105			
B			110	4720	šedočerný jílovec až prachovec s proplásky pískovce.	
O			115			
N			120			

Vrst. jedn.	Relativní hloubka	Měřitko Úklon vrstev	PROFIL	Mocnost Tektonika	Popis hornin	\$05tc002 Poznámky
K A R B O N	130,70	120		4720	šedočerný jílovec až prachovec s proplásky pískovce.	
		125				
		130				
		135				
		140				
		145				
						konečná hloubka



OKD, DPB, a.s.

Analytické laboratoře divize Ekotechnika



laboratoř akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s., pod číslem 1091
Rudé armády 637, 739 21 Paskov, IČO 00494356, DIČ CZ00494356
tel. 596 112 722, 596 111 546, 558 612 377, e-mail: klach@dpb.cz

PROTOKOL O ZKOUŠCE Č. P 472/05

Objednatel : OKD, DPB, a.s.
divize Povrchové vrtý
Rudé armády 637
739 21 Paskov

Číslo smlouvy :
Objednatel : objednávka ze dne 17.3.2005

Strana/celkem : 1 / 4

Akce : základní rozbor důlní vody

Typ vzorku : důlní voda

Odběr provedl : objednatel

Evidenční číslo vzorku : 2166

Označení vzorku : vrt - VŠB 1, tepelné čerpadlo, hloubka 105 m

Datum odběru vzorku : --

Ukončení odběru : --

Datum převzetí vzorku : 17.3.2005 13:30

Datum zahájení zkoušek : 18.3.2005

Datum vypracování protokolu : 21.3.2005

Protokol vypracoval : Šodková Petra

Způsob zpracování a úpravy vzorků :

Filtrace vzorku pro stanovení RL(RAS) a NL filtrem ze skelných vláken. Porozita 0,7-1,3um. Výrobce: Schleicher&Schuell.

Stanovení jodidů a bromidů - vzorek fixován HNO₃ na pH<2.

Stanovení kovů - vzorek fixován HNO₃ na pH<2.

Schválil :

Ing. Karel Lach, CSc.

vedoucí analytických laboratoří divize Ekotechnika



Prohlášení : Výsledky zkoušek a analýz se týkají pouze předmětu zkoušek a analýz a nenahrazují jiné dokumenty. Bez písemného souhlasu zkušební laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý.

x =	m	teplota vzduchu	°C	barva	našedlá
y =	m	teplota vzorku	°C	pach	žádný
z =	m	konduktivita	2430 uS/cm	zákal	znatelný
		pH	8,50	RL 105°C	1600 mg/l
		měrná hmotnost		NL 105°C	2800 mg/l
				Radon 222	Bq/l
				Radium 226	mBq/l

Kationty	mg/l	ekv. %*
vápník	10,4	2,06
hořčík	1,9	0,62
sodík	553	95,37
draslík	11,3	1,15
železo	0,384	0,05
mangan	0,025	0,00
amonný ion	3,41	3,41
Suma	580,4	25,22

Anionty	mg/l	ekv. %*
chloridy	56,8	5,54
bromidy	<1,00	<0,04
jodidy	<1,00	<0,03
sírany	<20	<1,44
HCO ₃	1360	77,29
uhličitaný	149	17,16
dusičnany	<2	<0,11
dusitany	0,055	0,00
OH- ionty	0	0,00
Suma	1568	28,89

Mineralizace		2150	mg/l
Oxid uhličitý	volný*	0	mg/l
	vázaný*	1090	mg/l
	agresivní*	0	mg/l
	celkový*	1090	mg/l
Tvrdość	celková*	0,34	mmol/l

Alkalita celková*	27,3	mmol/l
Alkalita zjevná*	2,48	mmol/l
Acidita celková*	0	mmol/l
Acidita zjevná*	0	mmol/l

Analýza ICP (AAS) - kationty - mg/l		
arsen	As	-
kadmium	Cd	-
kobalt	Co	-
cín	Sn	-
nikl	Ni	-
chrom	Cr	-
železo	Fe	0,384
zinek	Zn	-

Analýza ICP (AAS) - kationty - mg/l		
měď	Cu	-
rtuť	Hg	-
stroncium	Sr	-
bárium	Ba	-
olovo	Pb	-
lithium	Li	-
hliník	Al	-
antimon	Sb	-

Pozn. Parametry označené * jsou zkoušky (údaje) mimo rozsah akreditace.



Použité metody a nejistoty a zkoušek

Parametr	SOP	Metoda	Akr.	Nej.
amonné ionty	SOP 1	ČSN ISO 7150-1	A	5%
hydroxidové ionty	SOPN 16/III	ČSN EN ISO 9963-1; ČSN 757372	N	-
uhličitany	SOPN 16/III	ČSN EN ISO 9963-1; ČSN 757372	N	-
hydrogenuhličitany	SOPN 16/III	ČSN EN ISO 9963-1; ČSN 757372	N	-
oxid uhličitý volný	SOPN 16/III	ČSN EN ISO 9963-1; ČSN 757372	N	-
oxid uhličitý agresivní	SOPN 16/III	ČSN EN ISO 9963-1; ČSN 757372	N	-
oxid uhličitý celkový	SOPN 16/III	ČSN EN ISO 9963-1; ČSN 757372	N	-
oxid uhličitý vázaný	SOPN 16/III	ČSN EN ISO 9963-1; ČSN 757372	N	-
dusičnany	SOP 6	ČSN ISO 7890-3	A	2%
dusitany	SOP 7	ČSN EN 26777	A	10%
chloridy	SOP 2	ČSN ISO 9297	A	5%
jodidy	SOPN 20	vlastní metoda	N	-
bromidy	SOPN 20	vlastní metoda	N	-
kyselinová neutralizační kapacita	SOPN 16/I	vlastní metoda	N	-
kyselinová neutralizační kapacita	SOPN 16/I	vlastní metoda	N	-
elektrická konduktivita	SOP 12	ČSN EN 27888	A	1%
mineralizace	SOPN 46	Výpočet	N	-
nerozpuštěné látky	SOP 72	ČSN EN 872	A	10%
pach	SOPN 14	vlastní metoda	N	-
pH	SOP 11	ČSN ISO 10523	A	1%
rozpuštěné látky	SOP 25a	ČSN 75 7346	A	10%
sírany	SOP 9	vlastní metoda	A	20%
tvrdost celková (suma Ca+Mg)	SOP 74	ČSN ISO 6058, 6059	A	5%
hořčík	SOP 74	ČSN ISO 6058, 6059	A	5%
vápník	SOP 74	ČSN ISO 6058, 6059	A	5%
barva vizuálně	SOPN 10	vlastní metodika	N	-
zákal vizuálně	SOPN 10	vlastní metodika	N	-
zásadová neutralizační kapacita	SOPN 16/II	vlastní metodika	N	-
zásadová neutralizační kapacita	SOPN 16/II	vlastní metodika	N	-
mangan	SOP 60/I	ČSN EN ISO 11885	A	10%
sodík	SOP 60/I	ČSN EN ISO 11885	A	10%
železo	SOP 60/I	ČSN EN ISO 11885	A	15%
draslík	SOP 60/I	ČSN EN ISO 11885	A	10%

Nejistota měření je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95 % s koeficientem rozšíření $k=2$ a nezahrnuje nejistotu odběru.

Informace "Akr." rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky provedené v jiné laboratoři formou zprostředkování akreditovaného nebo neakreditovaného (ZA) resp. (ZN) nebo formou subdodávky akreditované nebo neakreditované (SA) resp. (SN).



Zodpovědnost za zkoušky

techn. ved. lab. anorg. spektrál. analýz

Ing. Pavla Kucielová, Ph. D.

techn. vedoucí lab. hydrochemie

Mgr. Edita Folvarčná



HYDROGEOLOGICKÉ POSOUZENÍ VÝSLEDKŮ CHEMICKÉ ANALÝZY VZORKU VODY

Hodnotící pracoviště:

OKD, DPB, a.s.
Odbor hydrogeologie a odvodňování
Rudé armády 637
739 21 Paskov

Zadavatel analýzy:
OKD, DPB, a.s.
divize Povrchové vrty

Označení vzorku zadavatelem:
vrt – VŠB 1, tepelné čerpadlo, hloubka 105 m

Evidenční číslo vzorku: 2166

Protokol o zkoušce č. P 472/05

HYDROGEOLOGICKÉ POSOUZENÍ:

Voda slabě mineralizovaná, sodno-bikarbonátová. Jde o vodu infiltrovanou do karbonského masivu z povrchu, mírně metamorfovanou průchodem přes horninové prostředí.

Autor hydrogeologického posouzení:



Ing. Pavel Malucha
vedoucí odboru hydrogeologie a odvodňování

OKD, DPB, a.s.

739 21 Paskov
odbor hydrogeologie
a odvodňování

V Paskově dne 21.3.2005

Význam LED diod na měřicí jednotce

6. Oranžová - Připojení obvodu RTC – nastavení a čtení času, alarmu a čísla,...
7. Zelená - Měření snímačů SMT nebo PT
8. Zelená - Měření baterií
9. Oranžová - Komunikace s GSM modemem
 - a. 100ms svítí 900 ms nesvítí – čekání na přihlášení do sítě
 - b. 500ms svítí 500 ms nesvítí – čekání na přijetí zůstatku na kartě
 - c. 900ms svítí 100 ms nesvítí – čekání na příchozí SMS
10. Zelená - Zpracování SMS – jedno bliknutí = jedna SMS
 - a. okamžité odměření blikne LED2 a LED3
 - b. nastavení blikne LED1
11. Červená - Vysílání SMS
12. Červená - Poplach
13. Červená - Chyba
14. Zelená - napájení 5V
17. Zelená - zapnutí vrtu (plánované nebo ruční)

Význam DIP přepínačů na měřicí jednotce

1. Diagnostika
2. Zpracování SMS
3. Ruční měření + Zpracování SMS
4. Náhrada plánovaného měření (např. pro odečtení dne v periodě)
5. Kontrola čísla
6. ---
7. Typ snímače
8. Typ snímače

Typ snímačů:

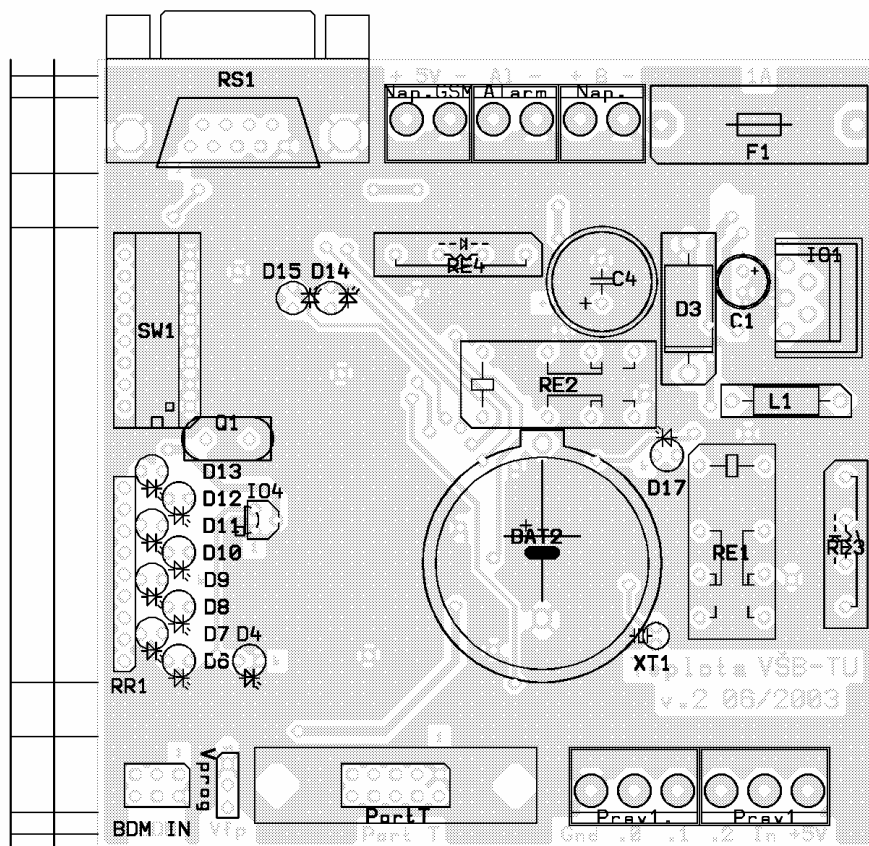
	Typ snímače	DIP8	DIP7
0	SMT	Off	Off
1	PT	Off	On
2	VRT485	On	Off

The schematic diagram illustrates a microcontroller-based system, likely a temperature monitoring or control unit. The central component is a microcontroller (MC34086P) connected to various peripheral components including relays (RELS1A12-1K), transistors (2N4401, 2N4403), diodes (1N4007, 1N4001), resistors, capacitors, and a power supply section. The diagram includes a header for pin connections and a detailed component list at the bottom.

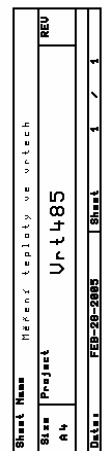
Component List:

- IC1: MC34086P
- IC2: RELS1A12-1K
- IC3: RELS1A12-1K
- IC4: RELS1A12-1K
- IC5: RELS1A12-1K
- IC6: RELS1A12-1K
- IC7: RELS1A12-1K
- IC8: RELS1A12-1K
- IC9: RELS1A12-1K
- IC10: RELS1A12-1K
- IC11: RELS1A12-1K
- IC12: RELS1A12-1K
- IC13: RELS1A12-1K
- IC14: RELS1A12-1K
- IC15: RELS1A12-1K
- IC16: RELS1A12-1K
- IC17: RELS1A12-1K
- IC18: RELS1A12-1K
- IC19: RELS1A12-1K
- IC20: RELS1A12-1K
- IC21: RELS1A12-1K
- IC22: RELS1A12-1K
- IC23: RELS1A12-1K
- IC24: RELS1A12-1K
- IC25: RELS1A12-1K
- IC26: RELS1A12-1K
- IC27: RELS1A12-1K
- IC28: RELS1A12-1K
- IC29: RELS1A12-1K
- IC30: RELS1A12-1K
- IC31: RELS1A12-1K
- IC32: RELS1A12-1K
- IC33: RELS1A12-1K
- IC34: RELS1A12-1K
- IC35: RELS1A12-1K
- IC36: RELS1A12-1K
- IC37: RELS1A12-1K
- IC38: RELS1A12-1K
- IC39: RELS1A12-1K
- IC40: RELS1A12-1K
- IC41: RELS1A12-1K
- IC42: RELS1A12-1K
- IC43: RELS1A12-1K
- IC44: RELS1A12-1K
- IC45: RELS1A12-1K
- IC46: RELS1A12-1K
- IC47: RELS1A12-1K
- IC48: RELS1A12-1K
- IC49: RELS1A12-1K
- IC50: RELS1A12-1K
- IC51: RELS1A12-1K
- IC52: RELS1A12-1K
- IC53: RELS1A12-1K
- IC54: RELS1A12-1K
- IC55: RELS1A12-1K
- IC56: RELS1A12-1K
- IC57: RELS1A12-1K
- IC58: RELS1A12-1K
- IC59: RELS1A12-1K
- IC60: RELS1A12-1K
- IC61: RELS1A12-1K
- IC62: RELS1A12-1K
- IC63: RELS1A12-1K
- IC64: RELS1A12-1K
- IC65: RELS1A12-1K
- IC66: RELS1A12-1K
- IC67: RELS1A12-1K
- IC68: RELS1A12-1K
- IC69: RELS1A12-1K
- IC70: RELS1A12-1K
- IC71: RELS1A12-1K
- IC72: RELS1A12-1K
- IC73: RELS1A12-1K
- IC74: RELS1A12-1K
- IC75: RELS1A12-1K
- IC76: RELS1A12-1K
- IC77: RELS1A12-1K
- IC78: RELS1A12-1K
- IC79: RELS1A12-1K
- IC80: RELS1A12-1K
- IC81: RELS1A12-1K
- IC82: RELS1A12-1K
- IC83: RELS1A12-1K
- IC84: RELS1A12-1K
- IC85: RELS1A12-1K
- IC86: RELS1A12-1K
- IC87: RELS1A12-1K
- IC88: RELS1A12-1K
- IC89: RELS1A12-1K
- IC90: RELS1A12-1K
- IC91: RELS1A12-1K
- IC92: RELS1A12-1K
- IC93: RELS1A12-1K
- IC94: RELS1A12-1K
- IC95: RELS1A12-1K
- IC96: RELS1A12-1K
- IC97: RELS1A12-1K
- IC98: RELS1A12-1K
- IC99: RELS1A12-1K
- IC100: RELS1A12-1K

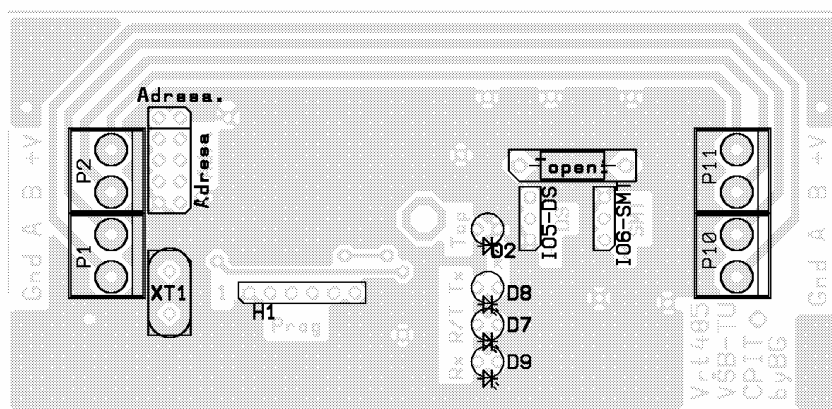
Rozložení desky plošného spoje řídicí jednotky



FORMICA Schumm Editor



Rozložení desky plošného spoje měřicí části



Formát zprávy

Každá měřicí jednotka reaguje na požadavek ve správném formátu, se správným kontrolním součtem a pokud je určen právě jí, jinak jej ignoruje. Každý ze čtyřech druhů požadavků má následující formát :

1. byte	2. byte	3. byte	4. byte
Hlavička požadavku	Číslo jednotky	Příkaz	CRC zprávy

Hlavička požadavku byla určena šestnáctkovou hodnotou 55H. Číslo jednotky je reprezentováno adresou zařízení, kterému je zpráva určena, v šestnáctkové soustavě pro naše řešení tedy 00-0FH. Příkaz může být následující :

- 01H – změř teploty na obou čidlech
- 02H – vyšli změřené teploty
- 03H – zapni topení
- 04H – vypni topení

CRC zprávy je kontrolní součet vypočtený z XOR předchozích znaků zprávy.

Příklad :

Chceme měřit teploty z čidla 13. Zpráva tedy bude následující : 550C0158.

Formát odpovědi čidla se liší pouze v hlavičce, která byla zvolena jako AAH, pro všechny požadavky mimo vyslání změřené teploty 02H.

1. byte	2. byte	3. byte	4. byte
Hlavička odpovědi	Číslo jednotky	Příkaz potvrzen	CRC zprávy

Příklad :

Po zaslání požadavku z předchozího příkladu obdržíme tuto odpověď : AA0C01A7.

Formát odpovědi pro vyslání teploty je následující :

1. byte	2. byte	3. byte	4. byte	5. byte	6. byte	7. byte	8. byte	9. byte	10. byte
Hlavička odpovědi	Číslo jednotky	Příkaz potvrzen	SMT TH0	SMT TL0	SMT TH1	SMT TH0	DALLAS low	DALLAS high	CRC

SMT – hodnoty z čidla SMT

TH0,TL0 – horní a dolní byte střidy, když je signál z čidla SMT v logické 1

TH1,TL1 – horní a dolní byte střidy, když je signál z čidla SMT v logické 0

Signál z čidla SMT je periodický a měření se provádí za 100 period, aby se snížila chyba měření. Praktická zkušenost dokazuje znatelné zvýšení přesnosti měření. Teplotu získáme dle vzorce:

$$teplota = \frac{DT - 0,320}{0,0047}$$

kde DT je střída signálu z čidla SMT.

DALLAS – hodnoty z čidla DALLAS

high, low – horní a dolní byte zprávy z čidla DALLAS

Čidlo DALLAS vysílá zprávu, kde je zakódována informace o teplotě dle následující tabulky:

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Zn.	Zn.	Zn.	Zn.	Zn.	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
high								low							

Zn. je znaménko, pokud jsou všude nuly, je znaménko kladné, všude jedničky záporné.

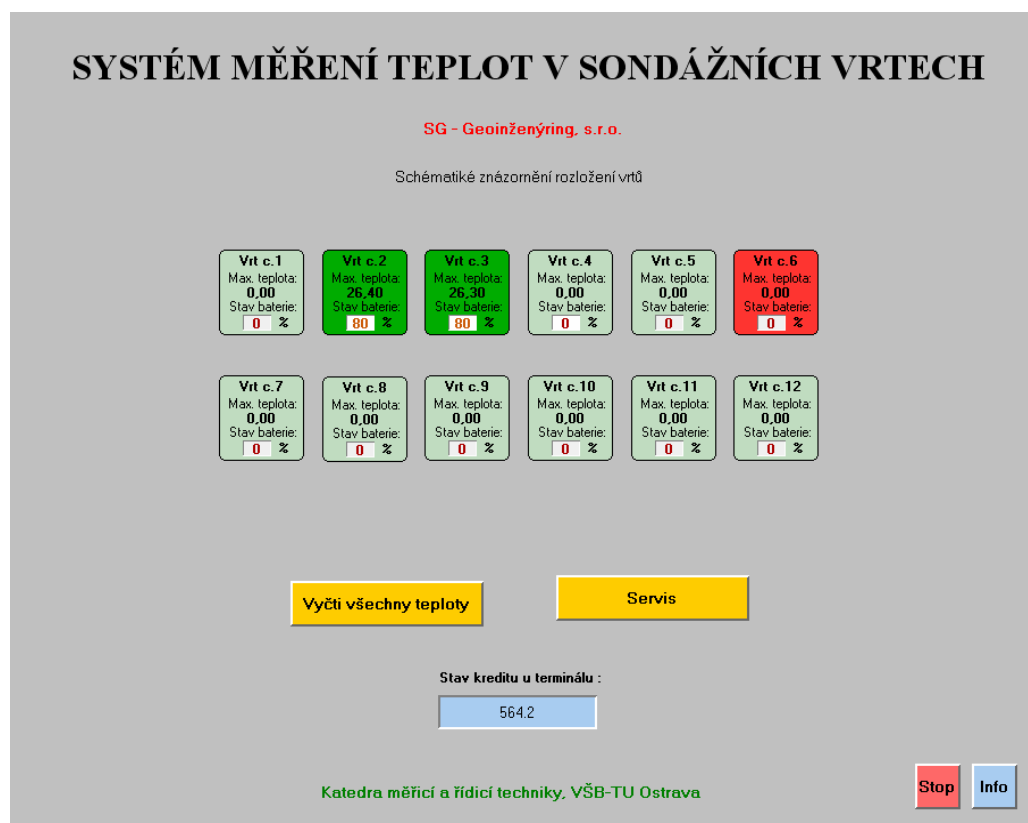
Teplota se určí vynásobením patřičných mocnin 2 a jejich součtem.

CRC je opět určeno za všech předcházejících bytů zprávy.

Příklad :

Obdržíme-li např. zprávu #AA#01#02#36#10#72#D2#C4#01#EA (mřížka znamená v použitém software hexadecimální soustavu), znamená to, že čidlo 2 odpovědělo na požadavek, přičemž naměřené teploty jsou pro SMT dle vzorce výše +26,64°C (s odstraněním chyb použité metody) a pro čidlo DALLAS +28,25°C. Odlišnost hodnot je způsobena jejich tolerancí, nebyly použity kalibrační údaje a upřesnění hodnoty z čidla SMT je zatíženo stále chybou výpočtu, která se odstraňuje.

Hlavní systémová obrazovka SCADA systému pro nastavování a monitorování vrtů



Servisní obrazovka SCADA systému pro konfiguraci vrtů

SERVISNÍ OBRAZOVKA

Chcete-li přidat nebo změnit číslo příslušného vrtu zadejte nové telefonní číslo do editačního okna ve tvaru :
+420xxxxYYYYY a pak stiskněte tlačítko "PŘIDEJ VRT"

Pokud společně s telefonním číslem chcete přidat i umístění polohy vrtu, pak zadejte i položku "Umístění vrtu"
(Např. Ostrava - Svinov) a až poté stiskněte tlačítko "PŘIDEJ VRT".

Pro odstranění vrtu slouží tlačítko "ZRUŠIT VRT", které umožní kompletní odebrání celého vrtu ze systému.

VRT : **Další vrt** Telefonní číslo : Umístění vrtu :

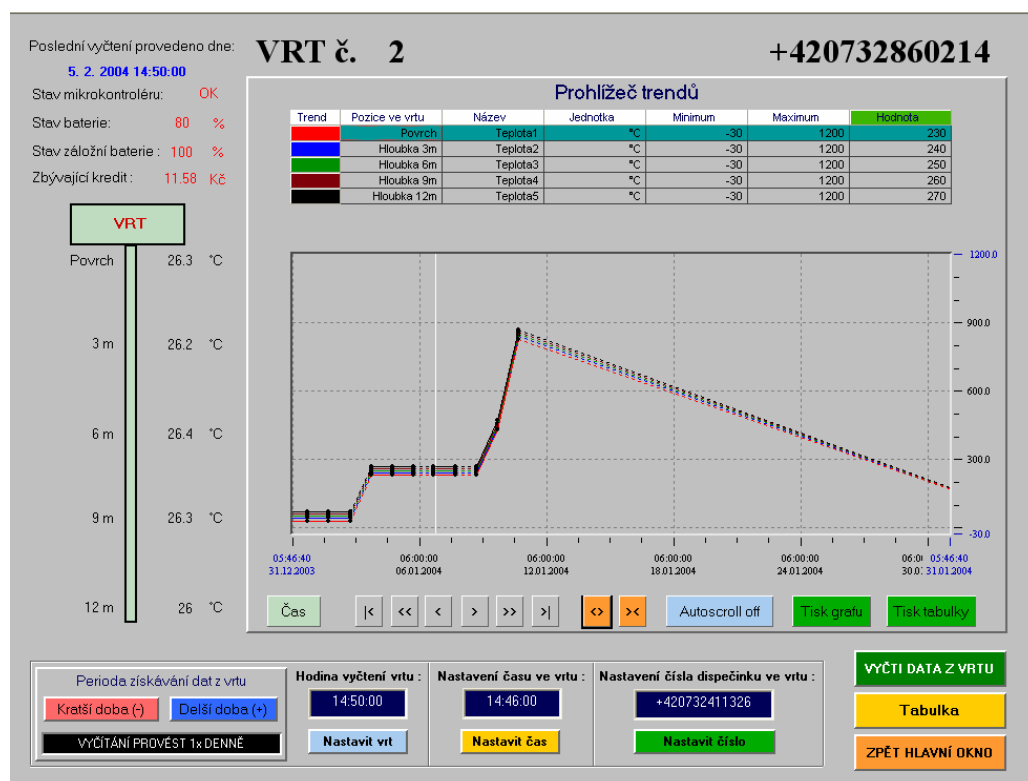
TELEFONNÍ ČÍSLO VRTU: Č. **1** **Předchozí vrt** **+420732154569** **Ostrava - Svinov**

PŘIDEJ VRT

ODEBER VRT

Zpět Hlavní okno

Obrazovka detailu vrtu pro rozšířené nastavování a monitorování vrtů



Obrazovka detailu vrtu pro rozšířené nastavování a monitorování vrtů

Komunikace s vrtu

Zprávy:

Příkaz odměř teploty : Čidlo vrtu č.1 odpovědělo změřeno ... OK

Příkaz odměř teploty : Čidlo vrtu č.5 odpovědělo změřeno ... OK

Příkaz odměř teploty : Čidlo vrtu č.12 odpovědělo změřeno ... OK

Příkaz vyčti teploty : Čidlo vrtu č.1 změřená data ... OK
 Teplota čidla č.1 : SMT : 27,32°C DALLAS : 27,44°C

Příkaz vyčti teploty : Čidlo vrtu č.5 změřená data ... OK
 Teplota čidla č.5 : SMT : 27,68°C DALLAS : 27,71°C

Příkaz vyčti teploty : Čidlo vrtu č.12 změřená data ... OK
 Teplota čidla č.12 : SMT : 28,24°C DALLAS : 28,31°C

Příkaz zapni topení : Čidlo vrtu č.1 zaplo topení ... OK

Příkaz zapni topení : Čidlo vrtu č.5 zaplo topení ... OK

Příkaz zapni topení : Čidlo vrtu č.12 zaplo topení ... OK

Příkaz vypni topení : Čidlo vrtu č.1 vyplo topení ... OK

Příkaz vypni topení : Čidlo vrtu č.5 vyplo topení ... OK

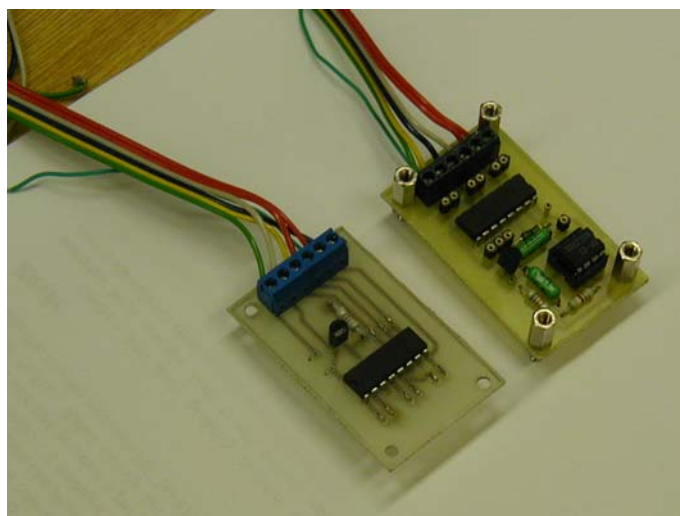
Příkaz vypni topení : Čidlo vrtu č.12 vyplo topení ... OK

Nastavení komunikačního portu :
 COM : 1 Otevři Zavři

Vymaž zprávy

Adresa čidla : 12 Příkaz pro čidlo : Vypni topení Pošli Konec

Elektronické moduly analogové části pro variantu se snímači Pt1000

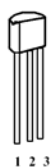
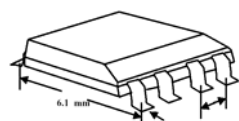


Teplotní čidlo Smartec SMT160-30

Teplotní čidlo Smartec je plně křemíkové čidlo s digitálním výstupem. Je připojitelný pouze jedním výstupním vodičem s pulzní šířkovou modulací bez nutnosti použít AD převodník. Teplotní rozsah 175 °C Součástka je v pouzdrech T018, TO92, T0220, SOIC.

Parametry:

- Absolutní přesnost $\pm 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Linearita výstupu $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Kalibrováno na čipu
- TTL, CMOS kompatibilní
- Teplotní rozsah $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ (-45 to $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Spotřeba $< 1\text{ mW}$



Teplotní čidla typu PT1000

PT1000 je platinové teplotní čidlo vyznačující se vysokou přesností v rozsahu -200 až $+850^{\circ}\text{C}$.

Parametry:

- Přesnost:
 - o třída A ($\pm 0.15^{\circ}\text{C}$)
 - o třída B $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ při 0°C
- Jmenovitý odpor $100\ \Omega$ při 0°C
- Citlivost $0,384/^{\circ}\text{C}$



GSM modul MC35

MC35 je GPRS modul pro mobilní přenos a zpracování dat.

Vlastnosti:

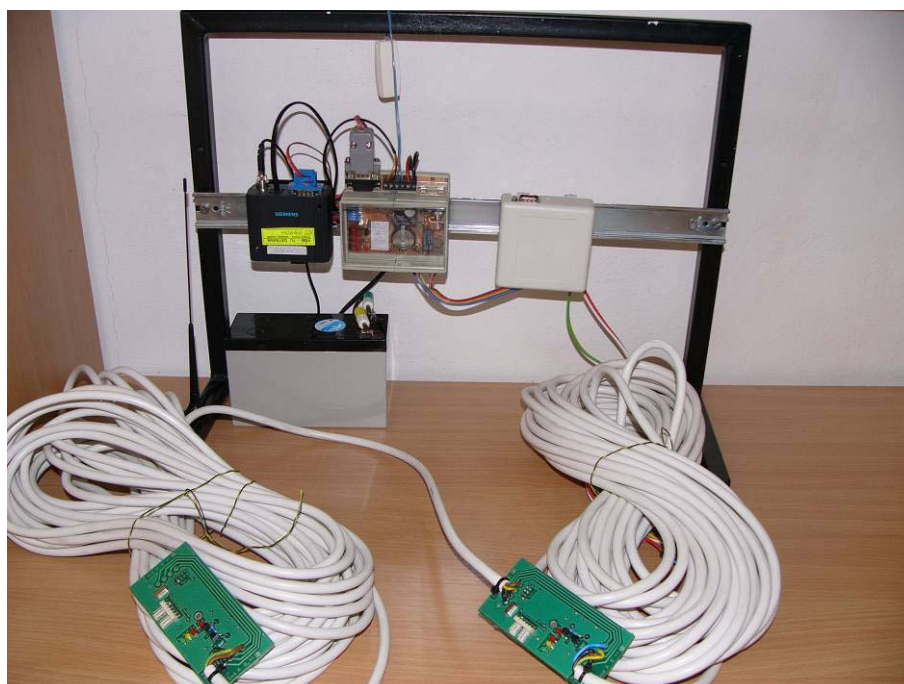
- Duální pro pásma EGSM900 a GSM1800
- Výstupní výkon:
 - o Výkonová třída 4 (2 W) pro EGSM900
 - o Výkonová třída 1 (1W) pro GSM1800
- Napájecí napětí $3.3...4.8\ \text{V}$
- Spotřeba energie:
 - o Spánek (registered DRX = 6) $3.0\ \text{mA}$
 - o Neaktivní (registered) $10.0\ \text{mA}$
 - o Aktivní $300\ \text{mA}$ (průměrně) $2.0\ \text{A}$ (špičkově)
 - o Snížená spotřeba $50\ \mu\text{A}$
- Ovládání pomocí AT příkazů
- SIM aplikační „tool kit“
- Fax, SMS, Data $14.4\ \text{kB/s}$, GPRS: max. $85.6\ \text{kB/s}$
- Rozhraní: napájení, RS232, $50\ \Omega$ anténní konektor
- Hmotnost: $16\ \text{g}$
- Rozměry: $54.5 \times 36 \times 6.65\ \text{mm}$
- Provozní teplota: $-25^{\circ}\text{C}...+55^{\circ}\text{C}$ podle GSM 11.10



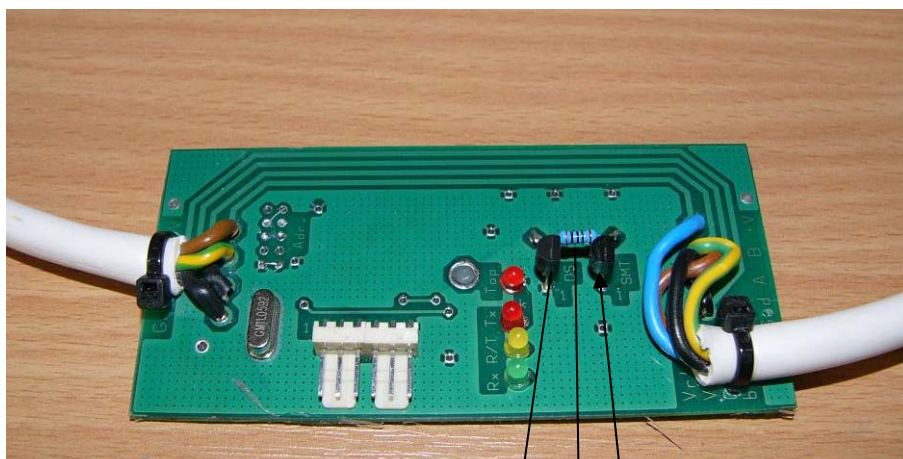
Uchycení zapouzdřeného měřicího uzlu při instalaci do vrtu



Měřicí systém při laboratorním testování



Detail měřicího uzlu s patrnými teplotními čidly



teplotní čidlo DS18B20

teplotní čidlo SMT 160-30

vyhřívací odpor pro
testování funkčnosti
teplotních čidel