

MATERIÁLOVÉ STANDARDY PRO DLOUHOU ŽIVOTNOST GEOTERMÁLNÍCH VRTŮ

MATERIAL STANDARDS FOR LONG SERVICE LIFE OF BOREHOLE HEAT EXCHANGERS

Milan Trs¹

¹GEROtop spol. s r.o., Kateřinská 589, 463 03 Stráž nad Nisou – Liberec, e-mail: m.trs@gerotop.cz

Abstrakt: Geotermální vrt s uzavřeným okruhem je podzemní stavba s obtížnou, zpravidla ekonomicky nereálnou opravitelností. Jeho dlouhodobá funkce proto závisí na souběhu hydrogeologicky vhodného návrhu, materiálové odolnosti sondy, těsnosti spojů, kvalitě injektáže a průkazné kontrole provedení. Příspěvek shrnuje požadavky na potrubí z PE 100-RC, továrně vyrobenou patu sondy, systémovou kompatibilitu komponentů a volbu tlakové i teplotní řady. Na příkladu systému GEROtherm jsou popsána řešení VARIO pro snížení hydraulických ztrát, FLUX pro hlubší vrtu a vysoká tlaková zatížení, RT pro zvýšené provozní teploty a REX pro prostředí s rizikem difuze geogenních plynů. Samostatná pozornost je věnována injektážní směsi jako prvku tepelného přenosu a hydrogeologického těsnění. Závěrem je navržen soubor kontrolních dokladů, který umožňuje převést deklarovanou kvalitu materiálu do ověřitelné kvality hotového vrtu.

Abstract: A closed-loop borehole heat exchanger is an underground structure that is difficult and usually uneconomical to repair. Its long-term performance therefore depends on a combination of hydrogeologically appropriate design, probe material resistance, leak-tight joints, grout quality and documented construction control. This paper summarises requirements for PE 100-RC pipes, factory-made probe feet, system compatibility and the selection of pressure and temperature classes. Using the GEROtherm system as an example, it describes VARIO for reduced hydraulic losses, FLUX for deeper boreholes and high pressure loads, RT for elevated operating temperatures, and REX for geological settings where diffusion of geogenic gases is a concern. Particular attention is paid to grout as both a heat-transfer medium and a hydrogeological seal. Finally, a set of quality records is proposed to translate declared material properties into verifiable quality of the completed borehole heat exchanger.

Klíčová slova: geotermální vrt, vrtný tepelný výměník, PE 100-RC, injektáž, životnost

Key words: geothermal borehole, borehole heat exchanger, PE 100-RC, grouting, service life

1. Úvod

U geotermálních vrtů pro tepelná čerpadla se často hodnotí zejména hloubka, měrný tepelný výkon nebo cena jednoho metru. Z hlediska dlouhodobého rizika je však stejně podstatné, že sonda a těsnicí výplň zůstávají po dokončení trvale v horninovém prostředí. Po zaplnění mezikruží nelze poškozené potrubí běžně vyjmout a nahradit; případná netěsnost může současně znamenat ztrátu funkce zdroje, únik teplotnosné kapaliny i vytvoření nežádoucí hydraulické komunikace mezi zvodněmi.

Evropská norma, v České republice zavedená jako ČSN EN 17522:2023, chápe vrtný tepelný výměník jako systém zahrnující vlastní vrt a sondu, horizontální potrubí, rozdělovač a navazující technologii. Tento systémový pohled je pro materiálový standard zásadní: špičková trubka sama o sobě nevykompenzuje nevhodnou patu sondy, improvizovaný spoj, chybnou volbu tlakové řady nebo nespojitě provedenou injektáž (CEN, 2023).

Cílem příspěvku je formulovat praktická kritéria, podle nichž lze kvalitu výstroje a dokončení vrtu doložit ještě předtím, než se komponenty stanou nepřístupnými. Produkty HakaGerodur systému GEROtherm jsou použity jako konkrétní příklad technicky provázané produktové řady; nejde však o náhradu geologického posouzení, výpočtu tlakových poměrů ani kontroly realizace.

2. Životnost jako vlastnost celého systému

2.1 Hydrogeologická funkce vrtu

Vrt protíná prostředí s různou propustností, chemismem a tlakovými poměry. Pokud zastihne více zvodní, musí být zabráněno jejich hydraulickému propojení. ČSN EN 17522:2023 výslovně požaduje posouzení artéských podmínek, chemismu podzemní vody, výskytu plynů, krasových jevů, nestabilního podloží a rizika promrzání. Materiálová specifikace proto musí vycházet z hydrogeologického modelu lokality a z předpokládaného provozního režimu, nikoli pouze z hloubky vrtu (CEN, 2023).

Dlouhá životnost znamená současné zachování tří funkcí: tlakové těsnosti okruhu, tepelného kontaktu mezi sondou a horninou a svislé těsnicí schopnosti výplně. Porucha kterékoli z nich může znehodnotit celý vrt, i když ostatní komponenty zůstanou mechanicky neporušené.

2.2 Deklarace materiálu versus průkazná kvalita

Pro zadání stavby nestačí obecný požadavek „sonda PE“. Je vhodné určit minimálně materiálovou třídu, rozměr a SDR, dovolený tlak při referenční teplotě, teplotní rozsah, způsob výroby paty, systém certifikace, dohledatelnost výrobku a tlakové zkoušky. Součástí dokumentace by měl být výrobní certifikát, identifikace šarže a sériového čísla, protokol o tlakové zkoušce a záznamy o spojování.

Předpoklad životnosti přesahující 100 let, uváděný pro kvalitní tlakové potrubí PE 100-RC, je výsledkem standardizovaných dlouhodobých zkoušek a extrapolace. Není to bezpodmínečná záruka konkrétního vrtu. Skutečnou životnost ovlivňuje kombinace vnitřního tlaku, teploty, doby zatížení, poškození při instalaci, kvality svarů a chemického prostředí. Právě proto má význam nezávislý výrobní dohled a ověřování každé dodávky, nikoli pouze obchodní označení materiálu.

3. Potrubí, pata sondy a spoje

3.1 PE 100-RC a odolnost proti pomalému růstu trhlin

Polyetylen PE 100-RC zachovává výhody PE 100 – korozní odolnost, pružnost a svařitelnost – a současně vykazuje zvýšenou odolnost proti pomalému růstu trhlin. To je důležité při zavádění sondy, kdy mohou vrypy, bodové zatížení od úlomků horniny a lokální deformace působit jako iniciační místa poruchy. Zkoušky bodového zatížení a FNCT simulují právě dlouhodobé chování materiálu při koncentraci napětí. Historicky byly tyto požadavky formulovány v PAS 1075; dokument byl sice formálně stažen, jeho podstatné požadavky zůstávají používány v certifikačních schématech a PE 100-RC byl nově začleněn také do evropské řady EN 12201 (DIN CERTCO, 2026; TEPPFA, 2024).

Pro geotermální sondu je důležité, aby odolnost proti trhlínám nebyla pouze vlastností vstupního granulátu. Musí být zachována stabilním výrobním procesem, geometrií trubky, zpracováním taveniny a kontrolou hotového výrobku. Systém GEROtherm používá PE 100-RC pro trubky i konstrukčně zesílenou patu; výrobní dohled a certifikace SKZ podle HR 3.26 vytvářejí průkaznější základ než samostatné prohlášení dodavatele (HakaGerodur, 2026a).

3.2 Továrně vyrobená pata a omezení svarů na stavbě

Pata sondy je nejhluběji uloženým a nejhůře opravitelným bodem okruhu. Má odolat vnitřnímu tlaku, vnějšímu tlaku při injektáži, tahovému zatížení při spouštění a případnému boulení v dolní části vrtu. Tovární výroba v kontrolovaných podmínkách, tlaková zkouška a jednoznačné výrobní označení snižují počet nekontrolovaných proměnných. Dodání sondy v celé délce navinuté na cívce současně eliminuje svařování vratného oblouku na stavbě, kde kvalitu ovlivňuje počasí, čistota, obsluha a dostupné zařízení (GEROtop, 2026a).

Ani systémová sonda však neodstraňuje potřebu správných spojů nad vrtem. Elektrotvarovkové nebo tupé svařování musí provádět kvalifikovaná obsluha podle schváleného postupu, s očištěním, oškrábáním a fixací potrubí. Každý spoj má být dohledatelný. Redukce, Y-kusy, přechody a rozdělovače je vhodné posuzovat jako hydraulický i mechanický celek; improvizované tvarovky mohou zvýšit tlakovou ztrátu a vytvořit další poruchová místa.

4. Volba konstrukce podle tlaku, teploty a geologie

Jednotný typ sondy není optimální pro všechny hloubky a provozní režimy. Rozhodující je výpočet nejvyššího vnitřního a vnějšího tlaku v průběhu instalace, injektáže, tlakové zkoušky i provozu. S rostoucí hloubkou se zvyšuje statický tlak sloupce kapaliny, zatímco během injektáže může na prázdnou nebo nedostatečně natlakovanou sondu působit významný vnější tlak. Teplotní zatížení zase mění dovolený tlak a dlouhodobou pevnost polymeru.

Tab. 1 Konstrukční varianty geotermálních sond GEROtherm
Tab. 1 Design variants of GEROtherm borehole heat exchangers

Řešení	Materiál a konstrukční charakteristika	Typická návrhová výhoda
DUPLEX	Dvojitá U-sonda z PE 100-RC; systémová tovární pata.	Standardní vrty, pokud vyhoví tlaková a hydraulická bilance.
VARIO	Proměnná tloušťka stěny při zachování vnějšího průměru; PN 16, PN 20 nebo PN 25 podle rozměru.	Nižší hydraulická ztráta než u konstantní silné stěny a vyšší odolnost proti vnějšímu tlaku v dolní části.
FLUX	Kónická trubka PE 100-RC s konstrukčními prvky z PA12; rozměry 43 a 53 mm; až PN 32, resp. PN 38 při 20 °C.	Hlubší vrty a vysoká tlaková zatížení při současné optimalizaci tlakových ztrát.
RT	PE 100-RT-RC se zvýšenou teplotní odolností; varianty DUPLEX-RT, VARIO-RT a FLUX-RT.	Regenerace, ukládání přebytků tepla a jiné režimy se zvýšenou teplotou; krátkodobě až +95 °C podle tlaku a teplotního profilu.
REX	Vícevrstvé provedení s integrovanou difuzní bariérou a ochrannou vrstvou; bariérově řešená je i pata.	Lokality s rizikem difuze geogenních plynů do okruhu a následného odplynování v technologii.

4.1 VARIO a FLUX: tlaková bezpečnost bez zbytečné hydraulické penalizace

U běžné trubky s konstantní tloušťkou stěny vede vyšší tlaková řada ke zmenšení vnitřního průměru po celé délce a k růstu tlakové ztráty. VARIO používá proměnnou tloušťku stěny: směrem do hloubky se zvyšuje odolnost proti tlakovému namáhání, zatímco v horní části zůstává příznivější průtočný profil. Podle průměru je výrobní řada nabízena až do PN 25 při 20 °C. Další výhodou je zvýšená odolnost proti boulení ve spodní části sondy, aniž by se zvětšil diagonální rozměr proti odpovídající sondě DUPLEX (HakaGerodur, 2026b).

FLUX posouvá stejný konstrukční princip do vyšších tlakových tříd. Pro průměr 43 mm je uváděna odolnost do PN 32 a pro 53 mm do PN 38 při 20 °C. Řešení je určeno zejména pro hlubší vrty a vysoké tlaky při injektáži. V konkrétním projektu však nesmí být jmenovitá tlaková třída zaměněna za dovolený provozní tlak za všech teplot; vždy se posuzuje celý zatěžovací stav a nejslabší prvek okruhu (HakaGerodur, 2026c).

4.2 GEROtherm RT: zvýšené teploty a regenerace podloží

Klasický nízkoteplotní odběr tepla zpravidla probíhá hluboko pod teplotními limity PE 100-RC. Situace se mění při aktivní regeneraci, solárním dobíjení, využití odpadního tepla nebo u vrtových zásobníků, kde může být do podloží přiváděna kapalina o teplotě nad 25 °C. Dlouhodobě zvýšená teplota urychluje teplotně podmíněné stárnutí polymeru a snižuje dovolené tlakové zatížení.

Materiál PE 100-RT-RC kombinuje odolnost proti pomalému růstu trhlin s vyšší teplotní odolností. GEROtherm RT je dostupný v konstrukcích DUPLEX, VARIO a FLUX; výrobce uvádí krátkodobou maximální teplotu +95 °C. Tuto hodnotu je nutné interpretovat spolu s vnitřním tlakem a ročním časově-teplotním profilem podle pravidla kumulace poškození, nikoli jako trvalou univerzální provozní teplotu. Výhodou je zachování čistě polymerní, korozně odolné konstrukce a kompatibility s montážním systémem (HakaGerodur, 2023a).

4.3 GEROtherm REX: difuzní bariéra v plynujících horninách

ČSN EN 17522:2023 upozorňuje, že geogenní plyny mohou vznikat nebo se akumulovat například nad uhlonosnými, rašelinnými, uhlovodíkovými či vulkanickými strukturami. Kromě bezpečnostního rizika při vrtání může plyn, například CO₂, difundovat stěnou běžné PE-HD sondy do teplotnosné kapaliny a narušovat provoz tepelného čerpadla (CEN, 2023).

GEROtherm REX řeší tento mechanismus integrovanou difuzní bariérou v trubce, mechanicky odolnou ochrannou vrstvou a bariérovou úpravou paty sondy. Zkoušky uváděné výrobcem prokázaly u potrubí pod mezi detekce permeace a u opatřené paty přibližně desetkrát nižší permeaci než u neopatřené provedení. REX proto představuje cílené opatření v lokalitách, kde hydrogeologický průzkum identifikuje riziko plynů; nenahrazuje však protierupční, ventilační ani těsnicí opatření během vrtání (HakaGerodur, 2023b).

5. Injektážní směs jako tepelný a hydrogeologický prvek

Výplň mezikruží má dvě rovnocenné funkce. Přenáší teplo mezi potrubím a horninou a současně obnovuje přerušené těsnicí vrstvy. Směs se proto volí podle tepelné vodivosti, sedimentační stability, objemové stálosti, hydraulické vodivosti, odolnosti proti chemismu podzemní vody a proti očekávaným teplotním cyklům. ČSN EN

17522:2023 požaduje přizpůsobit těsnicí výplň skutečným fyzikálně-chemickým podmínkám a zachovat její vlastnosti i při záporných teplotách vratné kapaliny (CEN, 2023).

Laboratorní katalogová hodnota tepelné vodivosti sama o sobě nevypovídá o hotovém vrtu. Terénní studie Albers et al. (2025) prokázala, že interakce směsi s horninou, filtrace záměsové vody a technologie přípravy mohou významně změnit vlastnosti výplně oproti laboratorním vzorkům. Autoři současně upozorňují na možnost rozdílů mezi jednotlivými záměsmi připravovanými na stavbě. Z toho plyne potřeba kontrolovat vodní součinitel, dobu a intenzitu míchání, hustotu čerstvé směsi a spotřebovaný objem.

Injektáž se obvykle provádí od dna vzhůru samostatným potrubím tak, aby vytlačovala vrtnou kapalinu a nevytvářela dutiny. V členité geologii, krasu nebo při ztrátách směsi může být nutný etapový postup a zvláštní receptura. Provoz pod bodem mrazu musí respektovat nejen teplotu teplonosné kapaliny, ale i možné změny kontaktu potrubí a výplně. Experiment Kupfernagel et al. (2021) ukázal, že teplotní změny a cykly zmrazování a rozmrazování mohou zvýšit hydraulickou vodivost systému trubka–výplň–hornina; provozní limity jsou tedy součástí hydrogeologické ochrany.

6. Kontrola kvality od projektu po předání

Materiálový standard má smysl pouze tehdy, pokud je převzat do projektové dokumentace, objednávky, montážního postupu a předávací dokumentace. Doporučené minimum uvádí tab. 2. Kontrola má být nastavena před zahájením vrtání, protože po injektáži již nelze většinu znaků ověřit.

Tab. 2 Doporučené kontrolní body a doklady
Tab. 2 Recommended quality checkpoints and records

Fáze	Kontrolní bod	Doklad
Návrh	Geologie, zvodně, chemismus, plyny, provozní teploty, tlakové poměry a riziko mrazu.	Hydrogeologický posudek, výpočet tlaků a materiálová specifikace.
Dodávka sondy	Materiál, rozměr, SDR/PN, délka, tovární pata, neporušenost obalu a návínu.	Výrobní certifikát EN 10204 2.2, sériové číslo, šarže, protokol výrobní zkoušky.
Před spuštěním	Vizuální kontrola, průchodnost, tlaková těsnost a vhodný instalační systém.	Stavební deník, identifikace sondy, záznam tlakové zkoušky.
Spoje	Kompatibilní tvarovky, čistota, oškrábání, fixace a kvalifikovaná obsluha.	Svařovací protokoly a identifikace pracovníka i zařízení.
Injektáž	Receptura, záměsová voda, hustota, míchání, postup od dna, tlak a skutečná spotřeba.	Injektážní protokol po záměsích, bilance objemu a záznam mimořádností.
Předání	Těsnost celého okruhu, průtoky, odvzdušnění, koncentrace a vlastnosti kapaliny.	Závěrečný tlakový protokol, dokumentace skutečného provedení a provozní limity.

Systémový přístup GEROtherm, který v České republice dlouhodobě uplatňuje společnost GEROTop, spojuje továrně připravené sondy, kompatibilní instalační příslušenství, spojovací prvky a doložené tlakové parametry. Jeho přínos není v samotném názvu výrobku, ale ve snížení počtu neověřených rozhraní. Pro investora a hydrogeologa zůstává rozhodující, zda projektant správně zvolil variantu a zda realizační firma doložila skutečné provedení.

Při hodnocení nabídek je proto vhodnější porovnávat úplnost technického průkazu než pouze cenu za metr sondy. Rozdíl v ceně nepřístupné části vrtu bývá malý ve vztahu k nákladům na celý zdroj, zatímco důsledky poruchy mohou zahrnovat nový vrt, zásah do hotových ploch a riziko pro podzemní vody.

7. Závěr

Dlouhá životnost geotermálního vrtu vzniká kombinací vhodného hydrogeologického návrhu, certifikovaného materiálu, konstrukčně bezpečné sondy, kompatibilních spojů, správné injektáže a dokumentované kontroly. PE 100-RC představuje důležitý standard odolnosti proti pomalému růstu trhlin, ale jeho označení nelze oddělit od výrobního dohledu a podmínek konkrétní instalace.

Varianty VARIO a FLUX umožňují přizpůsobit tlakovou odolnost a hydrauliku hloubce vrtu; RT reaguje na rostoucí význam regenerace a ukládání tepla při vyšších teplotách; REX doplňuje systém o difúzní ochranu pro geologická prostředí s výskytem plynů. Výběr musí být vždy odůvodněn výpočtem a hydrogeologickým rizikem. Pro odbornou praxi je klíčové požadovat nikoli obecné tvrzení o kvalitě, ale dohledatelný soubor certifikátů, zkoušek a realizačních protokolů. Teprve tento řetězec dává deklarované životnosti technický obsah.

Seznam literatury

- Albers A., Huttenloch P., Reduth Y., Zorn R., Steger H., Blum P., 2025: In-situ thermal properties of grouting materials in borehole heat exchangers. – *Geothermal Energy* 13, 23. DOI: 10.1186/s40517-025-00347-4.
- CEN, 2023: ČSN EN 17522:2023 (13 8500) Studny a výměníky tepla ve vrtech; identická s EN 17522:2023 Design and construction of backfilled and grouted borehole heat exchangers. – European Committee for Standardization. Brussels.
- DIN CERTCO, 2026: Pressure pipes made of PE 100-RC according to PAS 1075; informace o stažení PAS 1075 a návaznosti certifikačního schématu. – TÜV Rheinland. Dostupné z: <https://www.dincertco.de/> (cit. 20. 8. 2026).
- GEROtop, 2026a: Vrt pro tepelné čerpadlo a jeho vystrojení. – GEROtop spol. s r.o. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/vystrojeni-geotermalniho-vrtu> (cit. 20. 8. 2026).
- GEROtop, 2026b: Inovativní plast pro zemní plošné kolektory tepelných čerpadel. – GEROtop spol. s r.o. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/inovativni-plast-pro-zemni-kolektory> (cit. 20. 8. 2026).
- HakaGerodur, 2023a: GEROtherm®-RT – Geothermal probe for higher temperature and stress crack resistance. – HakaGerodur AG. Benken.
- HakaGerodur, 2023b: GEROtherm® REX – Complete diffusion-tight geothermal probe with protective layer. – HakaGerodur AG. Benken.
- HakaGerodur, 2026a: GEROtherm® geothermal systems – products and certificates. – HakaGerodur AG. Dostupné z: <https://www.hakagerodur.ch/en/gs-products/> (cit. 20. 8. 2026).
- HakaGerodur, 2026b: GEROtherm® VARIO – The conical, pressure loss-optimised geothermal probe. – HakaGerodur AG. Dostupné z: <https://www.hakagerodur.ch/en/gerotherm-vario/> (cit. 20. 8. 2026).
- HakaGerodur, 2026c: GEROtherm® FLUX – The conical, safety- and pressure loss-optimised geothermal probe. – Gerodur MPM Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG. Dostupné z: <https://www.gerodur.de/en/gerotherm-flux/> (cit. 20. 8. 2026).
- Kupfernagel J.-H., Hesse J. C., Schedel M., Welsch B., Anbergen H., Müller L., Sass I., 2021: Impact of operational temperature changes and freeze-thaw cycles on the hydraulic conductivity of borehole heat exchangers. – *Geothermal Energy* 9, 24. DOI: 10.1186/s40517-021-00206-y.
- TEPPFA, 2024: More benefits with crack-resistant PE 100-RC pipes. – The European Plastic Pipes and Fittings Association. Dostupné z: <https://www.teppfa.eu/latest-news/more-benefits-with-crack-resistant-pe100-rc-pipes/> (cit. 20. 8. 2026).
- VDI, 2019: VDI 4640 Blatt 2 Thermal use of the underground – Ground source heat pump systems. – Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf.