

# Geotermie

Technické základy | JANSEN Powerwave

# Obsah

## Geotermie – nevyčerpatelný zdroj energie

Země je obrovské úložiště tepelné energie. I v hloubce pouhých dvou metrů je průměrná teplota +10°C. Tuto energii můžeme využít k vytápění, chlazení či ohřevu vody.

V praxi se však ukázalo, že dochází ke špatným odhadům a pochopením tohoto zdroje tepla. V některých případech chybné a příliš optimistické interpretace vedly k tomu, že geotermální systémy nefungovaly.

Především u horizontálních systémů, které jsou pokládány do hloubky maximálně pět metrů pod terénem, docházelo často k chybnému odhadu. To v minulosti vrhalo na tento systém špatné světlo.

Správně vyprojektovaný a dimenzovaný horizontální systém představuje velmi efektivní a především cenově výhodnou alternativu k vertikálním systémům (zemním sondám).

Tento dokument slouží k lepšímu pochopení a využití horizontálních systémů a to především JANSEN Powerwave kolektoru v provedení se dvěma nebo čtyřmi potrubími a k zodpovězení následujících otázek:

Co je geotermální energie a jak vzniká ?	Strana 3 + 4
Jaké klimatické vlivy je třeba zohlednit ?	Strana 5 + 6
Jak má probíhat dimenzování systému JANSEN Powerwave ?	Strana 7
Jaký technický základ funkčnosti a vysoké efektivity představuje JANSEN Powerwave ?	Strana 8
Jak vychází porovnání systému JANSEN Powerwave s běžnými systémy ?	Strana 9 + 10
Proč je zvlněné potrubí JANSEN výkonnější než běžné hladké potrubí ?	Strana 11 + 12



JANSEN Powerwave typ P4

# Co je geotermální energie?

## Co je povrchová geotermální energie ?

Povrchová geotermální energie je označení pro energii uloženou ve vrstvách až do hloubky 400 metrů. Tato energie se nejčastěji používá k vytápění.

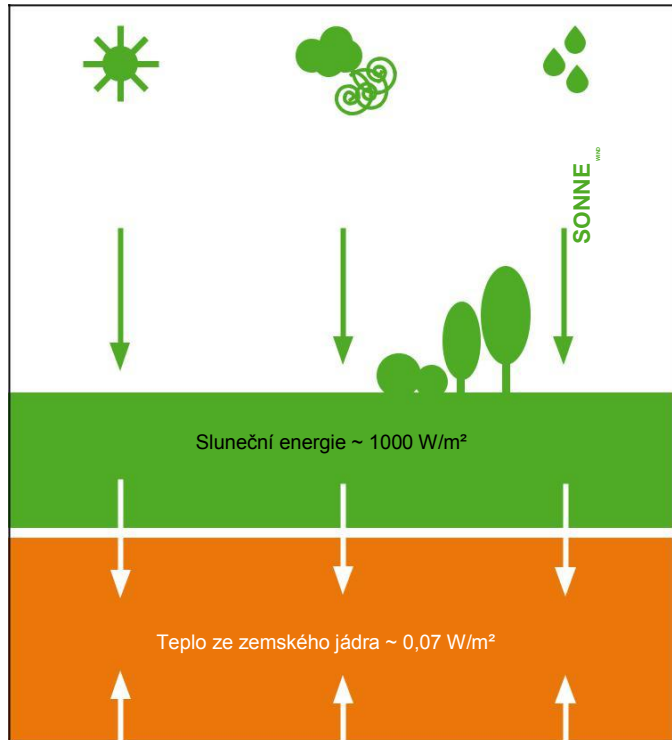
Druhým typem je hluboká geotermální energie, kde se vysoké teploty stahují z hloubky několika tisíc metrů. Využívá se hlavně pro výrobu elektrické energie.

Povrchová geotermální energie se využívá buď horizontálním anebo vertikálním systémem. Horizontální systémy jsou zpravidla ty, které se ukládají maximálně do hloubky cca 5 metrů pod povrchem. Příkladem takového systému je JANSEN Powerwave kolektor.

## Jak vzniká povrchová geotermální energie?

Sluneční záření, vítr a déšť ohřívají především vrchní vrstvy zemského podloží. Naproti tomu působí energie od středu země a také energie vzniklá procesy rozpadu. Tepelný přítok ze středu země je ve střední Evropě cca  $0,07 \text{ W/m}^2$ . Síla působení slunečního záření může dosahovat až  $1000 \text{ W/m}^2$  - v závislosti na regionu a poloze. Dosahuje tak téměř patnáctitisícnásobku. V našich zeměpisných šířkách je v denním průměru povrchem země absorbováno  $160 \text{ W/m}^2$  energie.

Pokud nedochází k regeneraci podloží aktivně - například chlazením budovy - je regenerace závislá na teplotě shora.



Zdroj: Úřad TAB pro posuzování technologií v německém Bundestagu Paschen, Oertel, Grünwald, 2003, Pracovní zpráva č.84; rovněž VDI 4640 (Blatt 1, 2000)

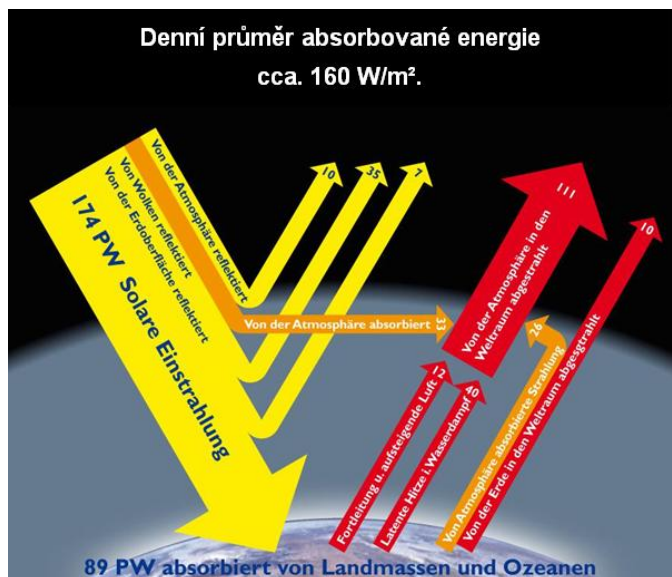
## «V povrchové geotermii tak využíváme především uloženou sluneční energii !»

(Huber a Pahud, 1999, jménem Spolkového úřadu pro energetiku, Švýcarsko; rovněž VDI 4640, Německo)

Je zřejmé, že: Čím blíže povrchu, tím silnější je vliv sluneční energie. Claesson a Eskilson (Matematická fyzika, univerzita Lund, Švédsko), oba uznávaní experti v oboru docházejí ke stejnému závěru, že pro všechny zemní sondy existuje časová konstanta, po které dojde k vyrovnání odebrané energie a přítoky tepla. Tato časová konstanta je úměrná hloubce sondy na druhou a je např. u sondy hluboké 100m v rozmezí 10-50 let.

Jinými slovy:

«Při rovnovážném stavu zemní sondy proudí cca 85% odebrané energie z povrchu a pouze cca 15% přichází ze středu země.»



Databáze: NASA, Hortert et al. & MIT Press, Vaclav Smil, 2003; PW = Petawatt

Vliv slunečního záření výrazně zvyšuje přenos tepla. Aby se tento parametr zohlednil, používá se takzvaná „teplota slunečního vzduchu“. To je chápáno tak, že to znamená hypotetickou venkovní teplotu vzduchu, při které by měla země stejný přenos tepla bez ozáření.

# Kvalitativní parametry podloží

## Jak je energie rozložena v zemi

K přenosu tepla v podloží dochází vedením tepla, konvekcí, tepelným zářením nebo vedením vodní páry. Převažuje zde přenos tepla vedením. K vedení tepla dochází ve všech částech zeminy a to vždy z teplejších částí k chladnějším.

Tepelná vodivost  $\lambda$  (W/m\*K) je proporční faktor, který udává vliv podloží na přenos tepla vedením tj. schopnost transportovat tepelnou energii pomocí vedení tepla. Tepelná vodivost je odvozená od několika faktorů: složení pevné části podloží, obsah vody a pórovitost.

Teplotním vedením přenesený výkon  $Q$  je popsán Fourierovou větou:

$$Q = \lambda * (A / d) * (T_1 - T_2) \quad \text{ve Wattech}$$

- d Tloušťka těla
- A Plocha, skrze kterou proudí teplo
- $T_1$  Teplota teplejšího povrchu
- $T_2$  Teplota chladnějšího povrchu

## Další faktory kvality podloží

Dalším faktorem pro určení kvality podloží je jeho tepelná kapacita. Tepelnou kapacitou se rozumí množství tepla, které je potřeba dodat jednomu Molu (g, cm<sup>3</sup>) látky, abychom ji ohřáli o jeden Kelvin (1K = 1°C). Obvykle je v souvislosti s geotermální energií udávána specifická tepelná kapacita  $c$  [J/(g\*K)] nebo objemová tepelná kapacita  $C$  [ J / (cm<sup>3</sup> \* K) ]. Tepelná kapacita půdy závisí především na hustotě a obsahu vody, na poměru pevných látek, kapalin a plynů. Specifická tepelná kapacita vyplývá z podílu objemové tepelné kapacity půdy a její vlhkosti  $p$ .

$$c = C / p$$

Poměr tepelné vodivosti  $\lambda$  k objemu tepelné kapacity  $C$  se označuje jako tepelná vodivost  $a$ . Jedná se o míru rychlosti vyrovnání teploty v látce.

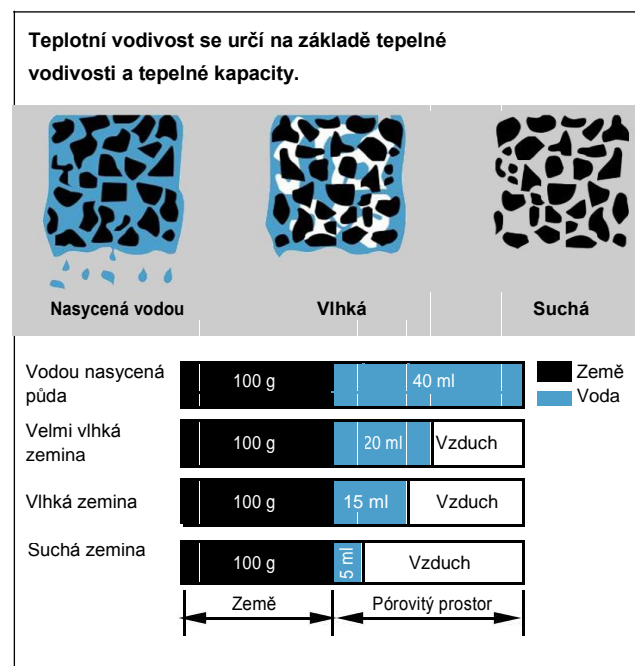
$$a = \lambda / C$$

Tepelná vodivost a tepelná kapacita rostou s rostoucím obsahem vody v podloží, ale nikoliv ve stejném poměru. Proto změna tepelné vodivosti se zvyšujícím se obsahem vody má nejednotný průběh. (Tepelné efekty hluboké stabilizace půdy pomocí sloupců páleného vápna Scholz-Solbach, 2004, Univerzita Weimar)

## Příklady hodnot půdy

Typ půdy	$\lambda$ [W/m*K]	$C$ [MJ/m <sup>3</sup> *K]	$a$ [m <sup>2</sup> /d]
Nesoudržná, suchá	0,35	1,45	0,024
Nesoudržná, vlhká resp. soudržná, suchá	0,87	1,60	0,045
Soudržná, vlhká	1,30	1,80	0,056
Soudržná, velmi vlhká	1,80	2,00	0,063
Nasyčená vodou	2,42	2,50	0,078

Zdroj: SIA 384/6; Jansen; IGSHPA Instalační příručka, Oklahoma State University, 1988



**Zjednodušeně: Vlhké, soudržné půdy mají lepší teplotní vlastnosti než suché nesoudržné.**

(Interpretace povrchových zemních kolektorů, 2010, BDH německé spolkové průmyslové sdružení, Dům-, Energia- a environmentální technologie & bwp spolková asociace tepelných čerpadel)

## V přírodě nejčastěji se vyskytující druhy půdy

	Písek	Hlína	Kal	písečný jíl
Obsah vody	9,30	28,20	38,10	36,40
$\lambda$ [W/m*K]	1,22	1,54	1,49	1,76
$c$ [J/kg*K]	805	1229	1345	1324
Hustota kg/m <sup>3</sup>	1512	1816	1821	1820

Zdroj: BDH & bwp, 2010

# Vlivy klimatu na horizontální systémy

## Přítok energie ze shora

Na rozdíl od zemních sond se horizontální systémy např. plošné kolektory, energokoše atd. instalují do mělkých výkopů. Nacházejí se tak v hloubkách, které podléhají sezónním výkyvům. Teplota půdy má značný fázový posun k teplotě vzduchu. Takže je na ní závislá, ale časově posunuta.

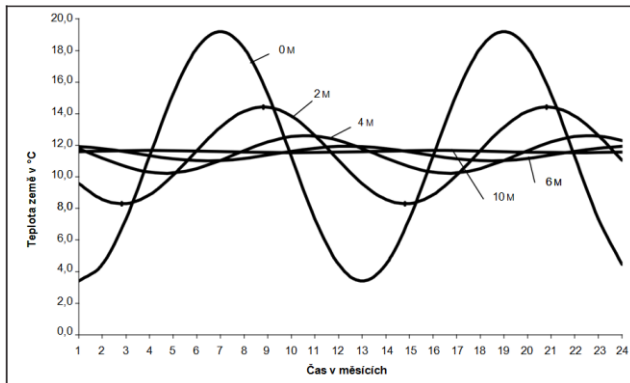
Pro určení tohoto fázového posunu hraje důležitou roli tepelná vodivost. Na základě průměrné roční teploty venkovního vzduchu, stávající amplitudy průměrné povrchové teploty v příslušné lokalitě a teplotní vodivosti lze určit, jaké teploty běžně převládají v jaké hloubce a v kterém ročním období.

**Fázový posun je jedním z nejdůležitějších fyzikálních vlivů pro funkci horizontálních systémů, zejména plošných kolektorů.**

Fázový posun lze spočítat následujícím vzorcem:

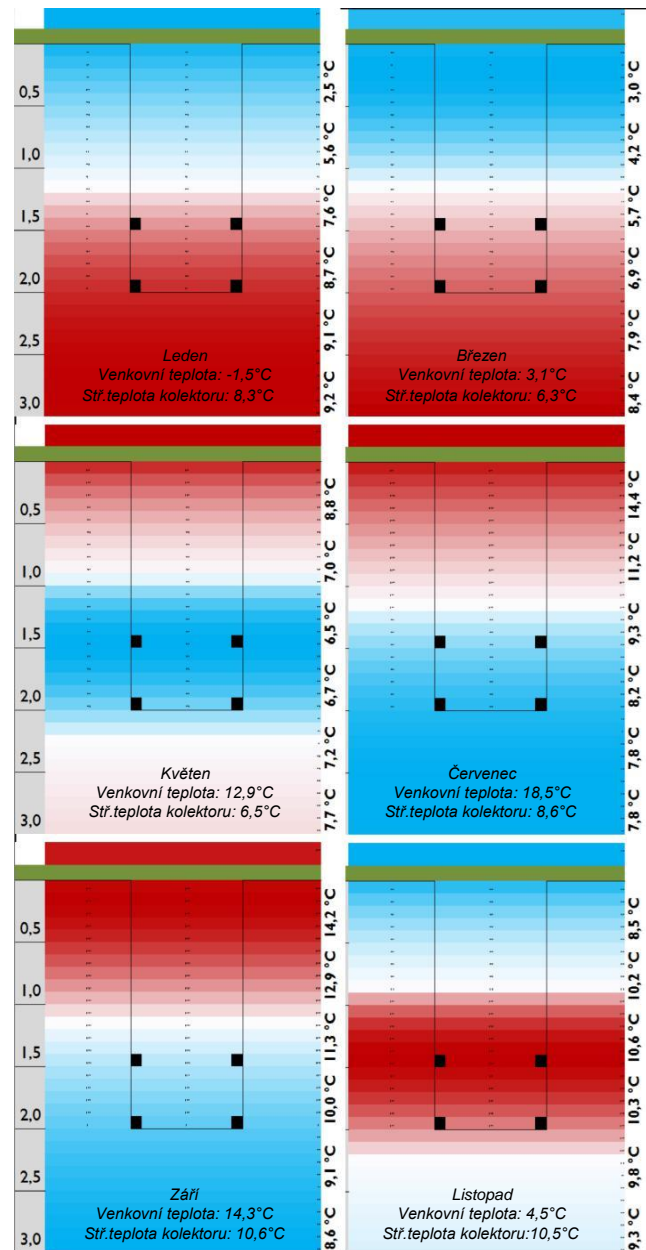
$$v_{ez}(t) = \bar{v} - \hat{v} * \exp \left[ -z * \left( \frac{\pi}{T * a} \right)^{\frac{1}{2}} \right] * \cos \left\{ \frac{2\pi}{T} * \left[ t - t_0 - \frac{z}{2} * \left( \frac{T}{\pi * a} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}$$

Nejvyšší teploty v nenarušené půdě, v závislosti na hloubce a půdních podmínkách, jsou v období od října do prosince, tj. na začátku topné sezóny. Nejnižší teploty se pak vyskytují na jaře nebo na začátku léta, kdy již není zapotřebí vytápění (a systém lze využít pro chlazení). Bassetti und Rohner, 2005, federální úřad pro energii, Švýcarsko



Roční teplotní cyklus pro různé hloubky  
Scholz-Solbach, 2004, Zdroj: Německá meteorologická služba,  
Měřicí bod Düsseldorf, 30-leté měřicí období

## JANSEN Powerwave typ P4



Zobrazení fázového posunu na základě teplotních simulací základu země:  
1,5 W/mK; 1,6 t/m<sup>3</sup>; 1,8 MJ/m<sup>3</sup>K  
Ø roční teplota venkovního vzduchu 8,5°C; amplituda 10°C  
© Jansen, Alge a Pernter

## Děšť a sníh

Vliv srážek je v této souvislosti velice významný.

Neplatí však tvrzení, že pro dodávku tepla je rozhodující tepelný obsah srážek.

Abychom to zjednodušili, pokud budeme předpokládat, že teplota srážek odpovídá teplotě vzduchu, jejich pronikání do půdy by dokonce způsobilo ochlazení.

$$Q_{\text{srážky}} = m_{\text{srážky}} * c_{\text{voda}} * (T_{\text{vzduch}} - T_{\text{země}})$$

Data z Gmundenu, Rakousko	Rok
Ø Venkovní teplota vzduchu [°C]	8,9
Ø Teplota půdy 5 cm [°C]	10,1
Měsíční průměr srážek [l/(m²a)]	1.181
Přísun tepla skrze srážky m²/a [kWh]	-1,66

Zdroj: ZAMG Österreich, Werte 2010

Výhodou deště a tající vody je ovšem určitý vliv na vedení a přenos tepla. Tepelná vodivost půdy a latentní tepelná kapacita při tvorbě ledu jsou ve vlhkém podloží výrazně vyšší než v suché půdě. Z tohoto důvodu by neměl být zemský povrch „utěsněn“.

(B. Glück, Simulační model «Zemní kolektor», 2008)

Uzavřená sněhová pokrývka působí jako izolátor a v zimě vede k menšímu ochlazení zeminy.

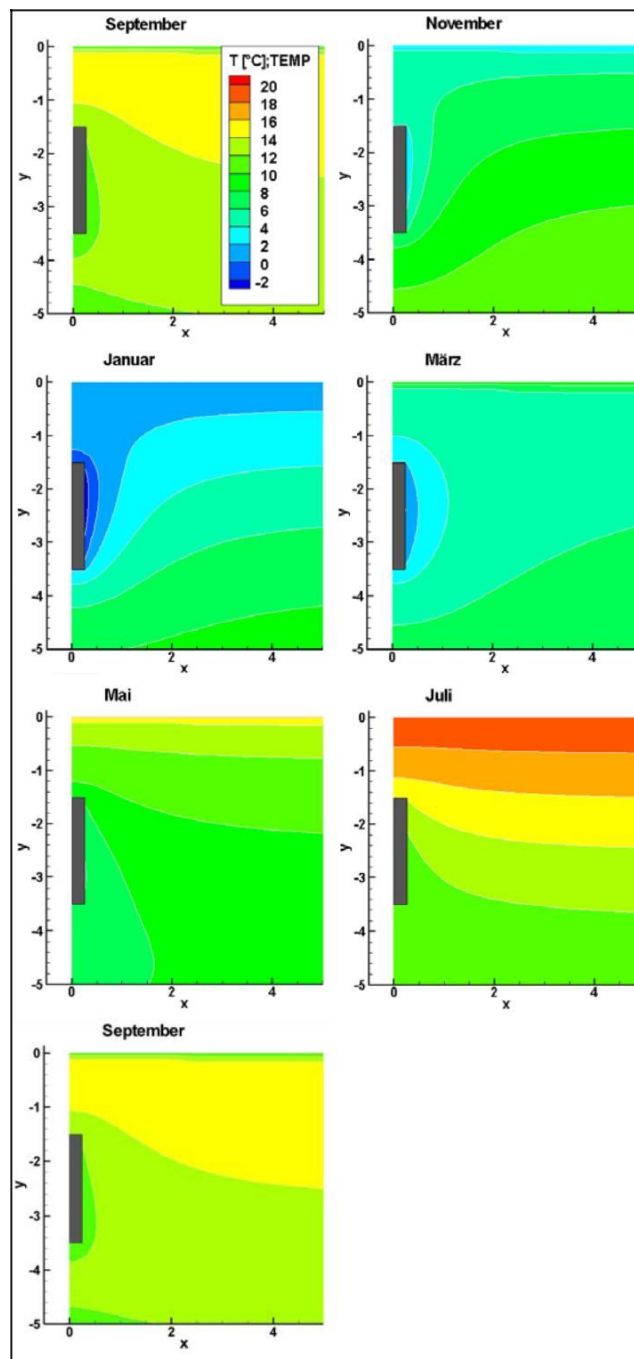
## Neustálá regenerace

Vedle odběrového výkonu hraje roli také roční odběr (množství odebrané energie). Ten by neměl překročit 70 kWh/m²/a.

JANSEN Powerwave kolektor P4 má na jeden metr výkopu odběrovou plochu cca 4 m². Což odpovídá množství odebrané energie až 280 kWh/a z metru výkopu.

Naproti tomu působí ve střední Evropě sluneční záření cca 1000 kWh/m²/a nebo celkové množství energie 4000 kWh/a na metr výkopu. (Meteonorm, Global Irradiation, Annual Mean 1981-2000, Meteotest, Švýcarsko)

**Prostřednictvím tohoto procesu se energie odebraná kolektorem v zimním období, opět doplní během letního období působením slona. Tento cyklus se každoročně opakuje.**



Simulace pro znázornění úplné teplotní regenerace horizontálních systémů - na příkladu geotermálního koše  
Zdroj: Bassetti a Rohner, 2005

# Výpočet: Podklady

## Funkčnost a efektivita vs. instalační náklady

Čím vyšší je teplota média na vstupu do tepelného čerpadla, tím lepší účinnost má systém. Jinými slovy: větší kolektor snižuje provozní náklady. Na druhou stranu rostou investiční náklady na instalaci, protože za účelem podstatného zlepšení teploty média se požadovaná velikost systému od určitého bodu neúměrně zvyšuje. Větší systém vyžaduje také větší prostor.

Fyzikální limit pro teplotu média je teplota podloží - minus ztráty při přenosu tepla. To je v zimě obvykle kolem 5°C až 8°C. Pro bezpečný provoz tepelných čerpadel je nutné dodržovat stanovené provozní limity, obvykle teplota média -5°C v tepelném čerpadle (rozpětí 3 K). Pro interpretaci u kolektorů platí i další faktory.

## Tvorba ledu - dobře nebo špatně ?

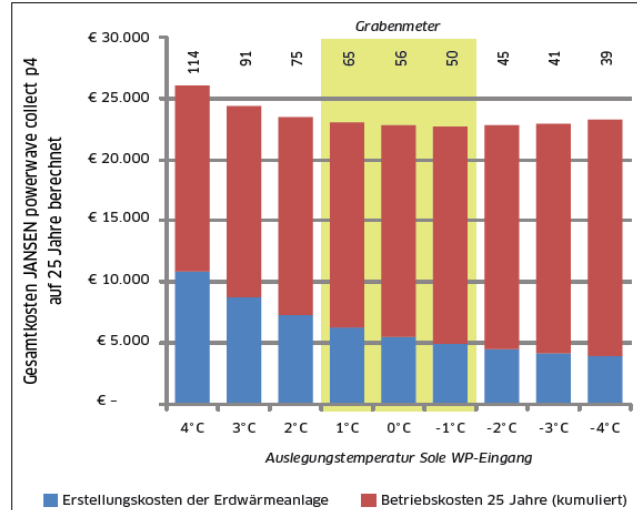
Obvyklý teplotní průběh média v běžných plošných kolektorech ukazuje, že minusové teploty jsou zcela běžné. Pokud se překročí zámrazný bod, začíná tvorba ledu. Tím dojde k uvolnění takzvaného skrytého nebo "latentního" tepla.

Pod pojmem „výpočtová teplota“ se v této souvislosti rozumí průměrná týdenní teplota média na vstupu do TČ během topné sezóny.

**Lokální tvorba ledu je žádoucím efektem, protože uvolňuje vysokou tepelnou kapacitu skrze fázovou změnu půdní vody a dále zvyšuje tepelnou vodivost.** (viz VDI 4640)

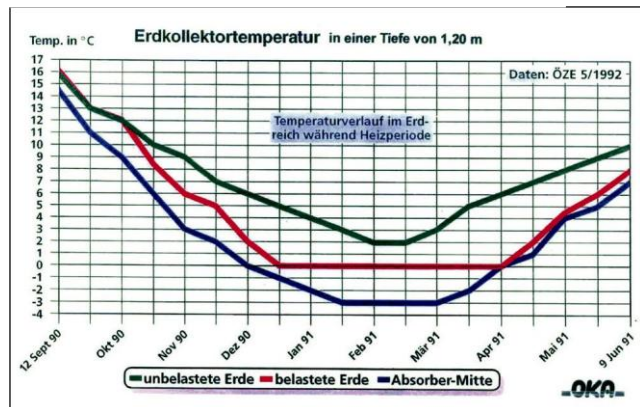
Ochlazení půdy ve správně navrženém geotermálním kolektoru obvykle neovlivňuje negativně životní prostředí. Je však nezbytné omezit tvorbu ledu kolem kolektorových trubek kvůli dvěma účinkům:

1. Led se při tuhnutí rozpíná. Pokud led kolem kolektorů roste tak moc, že se dotýká přírodní vrstvy ledu zmrzlé půdy (hranice mrazuvzdornosti), může dojít ke zvednutí půdy, zejména v soudržných půdách.
2. Pokud dojde k propojení ledových vrstev vytvořených kolem jednotlivých okruhů, přeruší se vertikální pohyb vlhkosti. Roztátá voda ze sněhu a voda z jarních srážek se tak nemohou vsáknout. Vytváří se bláto na povrchu. Je tedy potřeba dát pozor, aby spojené ledové části mezi polovinou dubna a května znovu včas roztály a voda tak mohla prosáknout alespoň mezerami.  
(BDH & bwp, a Ramming, 2007, TU Dresden)

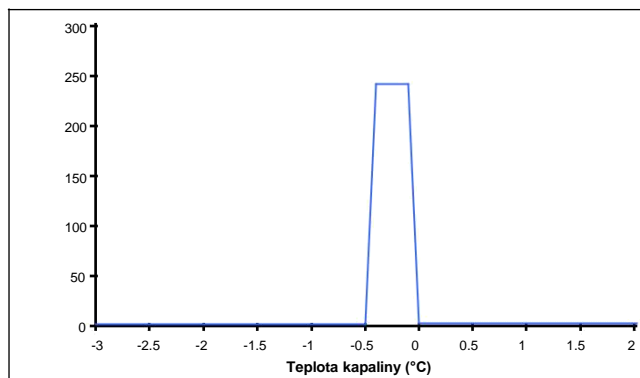


Základ pro výpočet: EFH mit 150 m<sup>2</sup>; 8 kW výkon tepelného čerpadla; Vytápění a teplá voda; Podloží: soudržná-vlhká půda; Chladící výkon: 6,2 kW; Cena el.energie 0,16 €/kWh

**Závěr: Ideální design využívá latentní teplo, zajišťuje regeneraci a je v rovnováze s účinností, požadavky na prostor a investičními náklady.**



Obvyklý teplotní profil pro standardní plošné kolektory  
Zdroj: vřzkum zásobárnv. Rakousko. Stumpf. 2008



Uvolňování latentního tepla odpovídá násobku normální tepelné kapacity půdy (en. «Půda»). Jíl / hlína s vlhkostí 30 obj.%.  
Zdroj: Xing, Spittler, Cullin (Oklahoma State University), Modeling of FHH, 2010

# JANSEN Powerwave kolektor: Chytrá pokládka

## Perfektní design

Konstrukce potrubí Powerwave je dokonale přizpůsobena skutečným podmínkám v provozu. Ideální rozestupy potrubí a výkopů zajistí dostatečný odběr energie ze země. Chytrý průtok média také optimalizuje účinnost jednotlivých cyklů, protože teplota kapaliny na vstupu tepelného čerpadla je co nejbližší teplotě podloží. Tím se dosáhne lepšího využití teplotního gradientu země.

Výkon potrubí JANSEN Powerwave byl ověřen pomocí simulací s výpočetním softwarem „GLD - Ground Loop Design“ (© Gaia Geothermal, LLC), prostřednictvím výpočtů Institutu pro energetické technologie na univerzitě Rapperswil (IET HSR), prostřednictvím návrhu výpočty testovacích systémů Huber Energietechnik AG, Curych a společností Jansen AG.

To zajišťuje, že systém a půda mohou poskytnout dostatek energie na zimu. Pomocí nástroje «JANSEN geoplan» je možné navrhovat horizontální systémy s různým rozložením, návrhovými teplotami a dalšími parametry. Naše pokyny pro návrh jsou proto založeny na nejnovějších vědeckých poznatcích, podporované simulacemi a potvrzené praxí.

## JANSEN Powerwave kolektor P2

Hloubka: 1,5 m  
Šířka výkopu (dole): 1,0 m

## JANSEN Powerwave kolektor P4

Hloubka vrchní trubky: 1,5 m  
Hloubka spodní trubky: 2,0 m  
Šířka výkopu (dole): 1,0 m

## Doporučené rozestupy

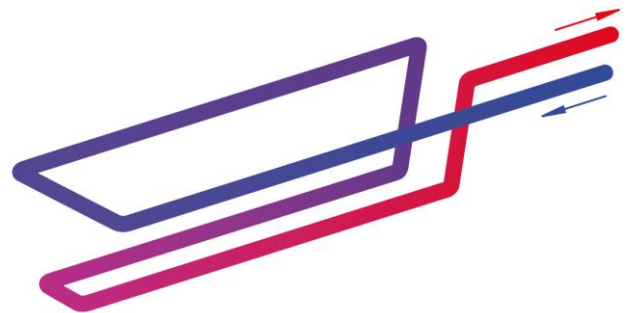
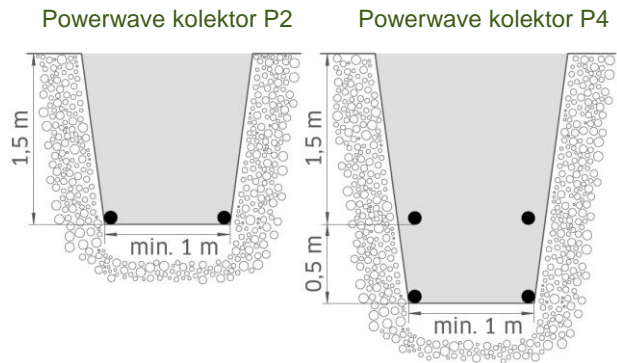
Od budovy 2,0 m  
Od jiných sítí 1,0 m  
Mezi výkopy 3,0 m  
Od hrany pozemku 1,0-2,0 m  
Je třeba dodržovat místní předpisy !

## Vysoká kvalita plánování

Pro fungující systém s využitím zemního tepelného čerpadla potřebujete nejen kvalitní produkty, ale také profesionálně vytvořený projekt a know-how. Pro řádný výpočet je třeba zohlednit:

- Energetickou potřebu (vytápění, chlazení, ohřev vody)
- Složení půdy (typ, vlhkost)
- Průměrnou roční venkovní teplota vzduchu

Pomocí těchto parametrů lze vypočítat kapacitu odběru JANSEN Powerwave. Pomůže vám nástroj JANSEN geoplan. (viz obrázek vpravo).



*Tok nemrznoucí kapaliny JANSEN Powerwave P4 je navržen tak, že protéká nejdříve horní a poté spodní úroveň. To zvyšuje účinnost při vytápění a chlazení.*

**Jansen geoplan pwkt1.0**

Planer  
Bearbeiter  
Telefon  
Fax  
Email  
Auftraggeber  
Adresse  
Person  
Telefon  
Kundennummer

**powerwave Simulation**  
Berrechnung für Wellrohrkollektorsysteme

Objekt  
Datum

powerwave Kollektor Typ: powerwave collect p4

Wärmepumpendaten  
Wärmepumpenleistung  
COP  
Kälteleistung #DIV/0!

Klimadaten und Bodenwerte  
Ø Temperatur Aussenluft  
Ø Temp. kältester Monat  
Korrekturfaktor -55.0%

Durchfluss Solekreislauf  
Druckverlust Verdampfer  
Warmwasserbereitung (Anzahl Personen)

Auslegungstemperatur Kollektor  
Bodentyp Lehm  
Standort der Anlage  
Strasse

**Předáváme naše know-how našim zákazníkům:**

- Naši partneři jsou proškoleni.
- Podpora našeho technického oddělení.
- Profesionální podpora při projektování a výpočtech.



# JANSEN Powerwave kolektor: Srovnání

## Srovnání: JANSEN Powerwave a běžný kolektor

Klasické plošné kolektory se pokládají v hloubce 1,2 m a na ploše (podle potřeby energie) několika set metrů čtverečních. Proto jsou často zapotřebí významné zemní práce. Vznikají rovněž problémy s uložením vytěžené horniny.

V zimě může energie proudit pouze ze shora a zespoda. Potrubí se navzájem výrazně ovlivňuje. Toto vede k potřebě velké plochy. Velká část pozemku je pak obsazena kolektorem a nelze na ni již dále stavět nebo pěstovat rostliny s hlubokými kořeny. Je také nutné použít sběrače/rozdělovače.

Naproti tomu u JANSEN Powerwave kolektoru může energie proudit ve více směrech. To redukuje potřebu velké plochy ve srovnání s běžnými kolektory. Mimo to je výhodou především systému JANSEN Powerwave kolektor P4 hlubší zabudování. V hloubce dvou metrů je výraznější fázový posun a konstantnější vyšší teploty. Rozdíl může být několik stupňů celsia.

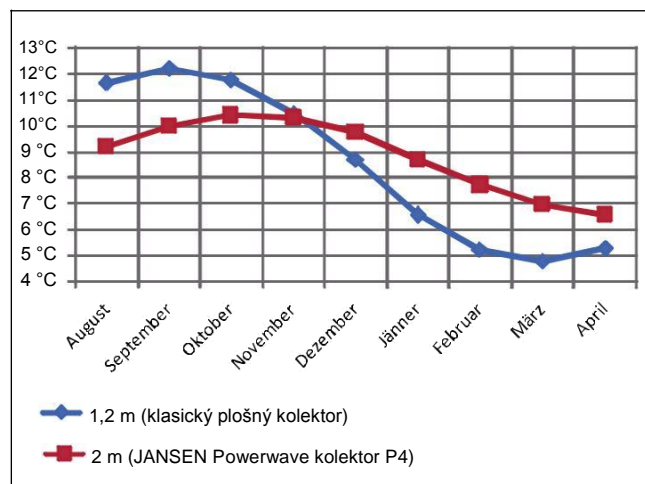
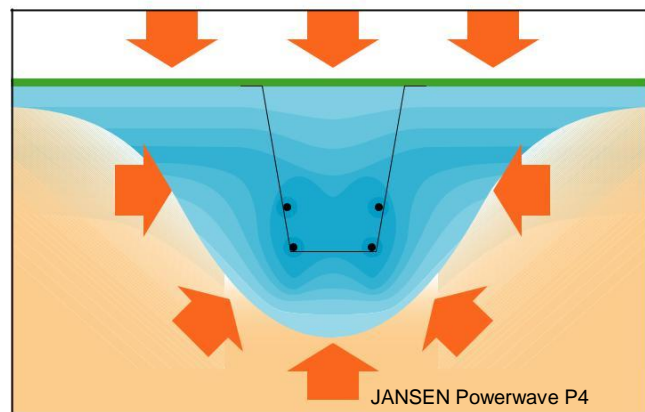
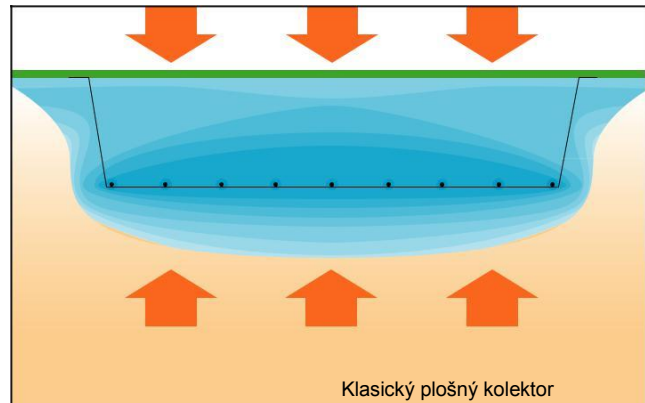
### Výhody JANSEN Powerwave kolektoru P4 oproti běžným plošným kolektorům:

- Zabránění plošné tvorbě ledu.
- Flexibilní možnosti umístění.
- Výrazně méně zemních prací.
- Potřeba menší plochy pozemku.
- Ve většině případů možná pokládka podél hranice pozemku, to umožňuje zachovat větší část dostupného pozemku.
- Až do topného výkonu 10 kW není třeba sběrač/rozdělovač.

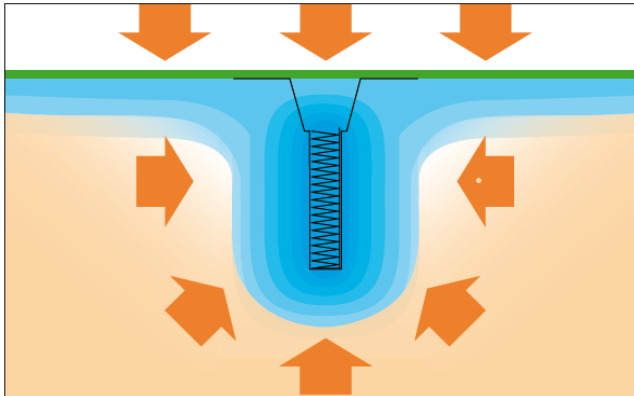
### Příklad srovnání

v souhrzném, vlhkém podloží, +10°C průměrná venkovní teplota

8 kW Topný výkon	JANSEN Powerwave kolektor P4	Klasický kolektor 32mm hladké potrubí
Délka výkopu	90 m	–
Plocha pokládky	100 m <sup>2</sup>	300 m <sup>2</sup>
Vytěžená zemina	180 m <sup>3</sup>	360 m <sup>3</sup>
Povrch potrubí geotermálního systému	79 m <sup>2</sup>	40 m <sup>2</sup>
Objem kolektoru	800 l	200 l



*Během měsíců topné sezóny je přirozená teplota půdy kolem Powerwave kolektoru P4 podstatně vyšší než u klasických povrchových kolektorů  
Podklad: viz. strana 6*

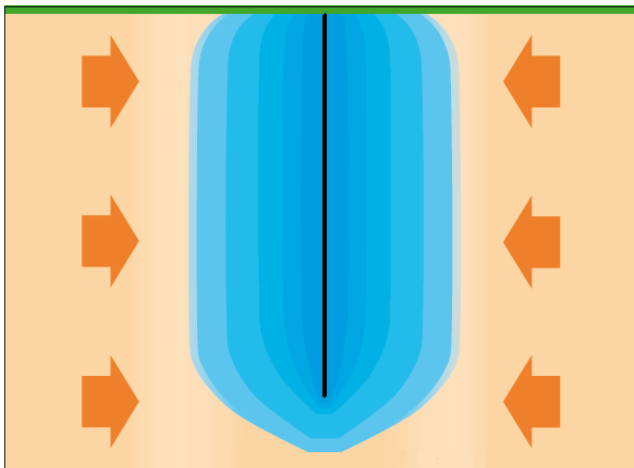


Energetický koš

### Srovnání: JANSEN Powerwave a energetický koš

Princip kolektoru Powerwave je tedy více podobný energetickému koši. Energetické koše také fungují na principu radiálního odběru energie

Běžné energetické koše jsou přeci jen o něco náročnější a dražší z hlediska zabudování. Navíc je u nich větší termické zatížení podloží.



Zemní sonda 100 m

### Srovnání: JANSEN Powerwave a zemní sondy

Odběr energie u zemních sond probíhá v celé délce radiálním způsobem. Z hlediska principu fungování je i tady podobný princip jako u kolektoru Powerwave.

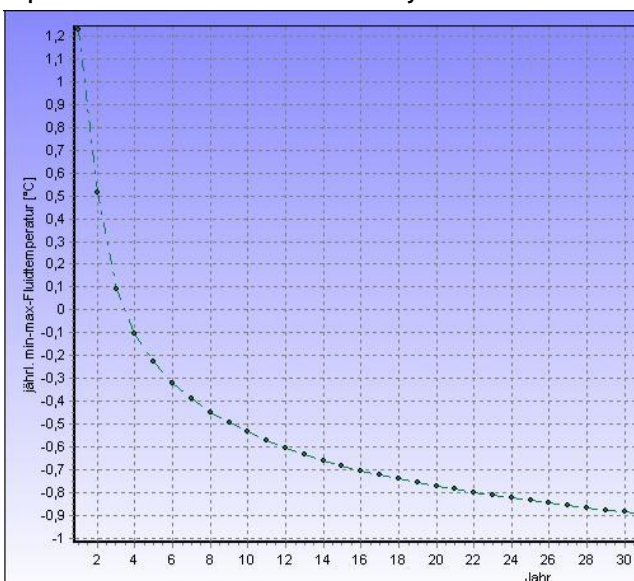
Nevýhody zemních sond: Ke kompletní teplotní regeneraci nemůže docházet každý rok. To znamená, že se podloží v běžných případech rok od roku ochlazuje.

Simulace na 50 let ukazuje: Původní teplotní hladiny v podloží nelze dosáhnout pouze přirozenou regenerací.

#### Další výhody kolektoru JANSEN Powerwave P4 proti běžným zemním sondám:

- Není třeba povolení
- Odpadá riziko při vrtání
- Výrazně nižší investice

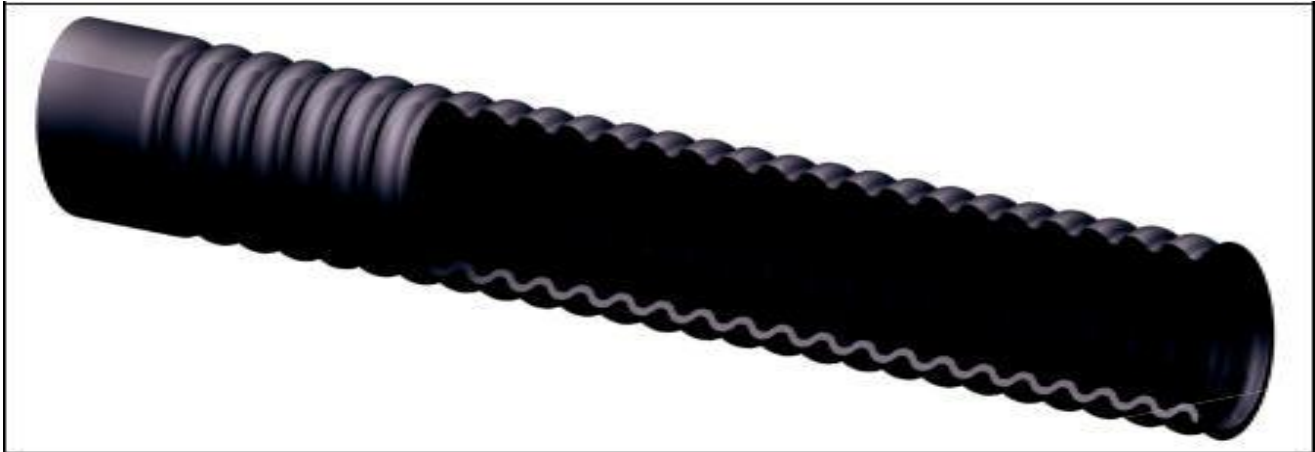
#### Teplotní křivka klasické 100 m zemní sondy



Simulace v EED - Earth Energy Designer

# Konstrukce potrubí s výhodami

Nejen způsob pokládky, ale také zvlněný tvar potrubí JANSEN přispívají k vysokému stupni efektivity. Systém JANSEN Powerwave je tvořen zvlněným potrubím d63 z materiálu PE 100 RC. Každých 100 cm se nachází hladká část, která umožňuje snadné napojení pomocí elektrotvarovky.



## Vlnité potrubí JANSEN

- Lepší předání energie díky turbulentnímu proudění
- Větší povrch zaručuje větší přenos tepla
- Lepší tvarová stabilita i flexibilita
- Dlouhá životnost materiálu PE 100 RC
- SKZ certifikace

## Větší povrch a turbulentní proudění

Vlnité potrubí s výhodami:

Ve srovnání s hladkou trubkou má vlnité potrubí výrazně větší povrch pro zisk energie: 0,22 m<sup>2</sup> na metr trubky.

Srovnání: Nejčastěji používaná trubka pro plošný kolektor d32mm má povrch pouze cca 0,1 m<sup>2</sup> na metr trubky.

Positivní vedlejší efekt většího průměru je větší objem proudící kapaliny, což umožňuje uložení více energie. Rozdíl oproti běžným kolektorům d32 najdete na straně 10.

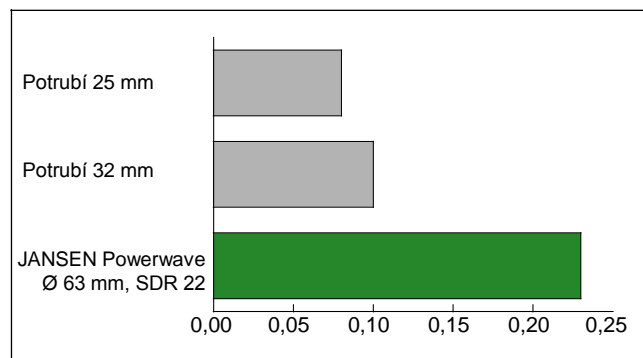
Protože je potrubí zvlněno také zevnitř, systém dosahuje optimálního turbulentního proudění pro lepší přenos tepla ze země do teplonosné tekutiny.

## Odpor potrubí: Faktor účinnosti

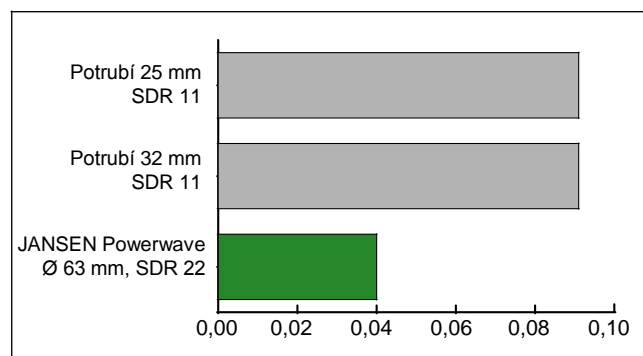
Tyto faktory mají za následek výrazně nižší tepelný odpor potrubí ve srovnání s běžným hladkým potrubím.

Odpor potrubí vyjádřený v m<sup>2</sup>/K/W je spolu s vydatností podloží rozhodujícím faktorem pro určení výkonu celého systému. Čím menší je odpor, tím je kolektor účinnější.

Srovnání: Povrch potrubí v m<sup>2</sup> / běžný metr



Srovnání: Odpor potrubí v m<sup>2</sup>/K/W



Zdroj: GLD 2010 a měření

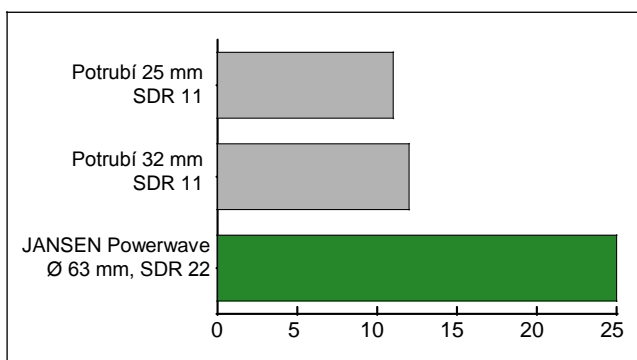
## Nižší odpor znamená vyšší výkon

Fourierovu rovnici tepelného toku lze použít k ilustraci účinku nižšího odporu na vedení tepla potrubím.

$$Q = (2 * \pi * l) / \ln(da/di) * \lambda * \Delta T$$

$Q$	Výkon v (W) na 1 m trubky
$L$	Délka trubky (1,0 m)
$da$	Vnější průměr potrubí (v m)
$di$	Vnitřní průměr potrubí (v m)
$\lambda$	Tepelná vodivost (v W/m*K)
$\Delta T$	Rozdíl teplot (v K)

Srovnání: Tepelné proudění dle Fouriera při 1K  $\Delta T$



Výkon ve watech na metr potrubí

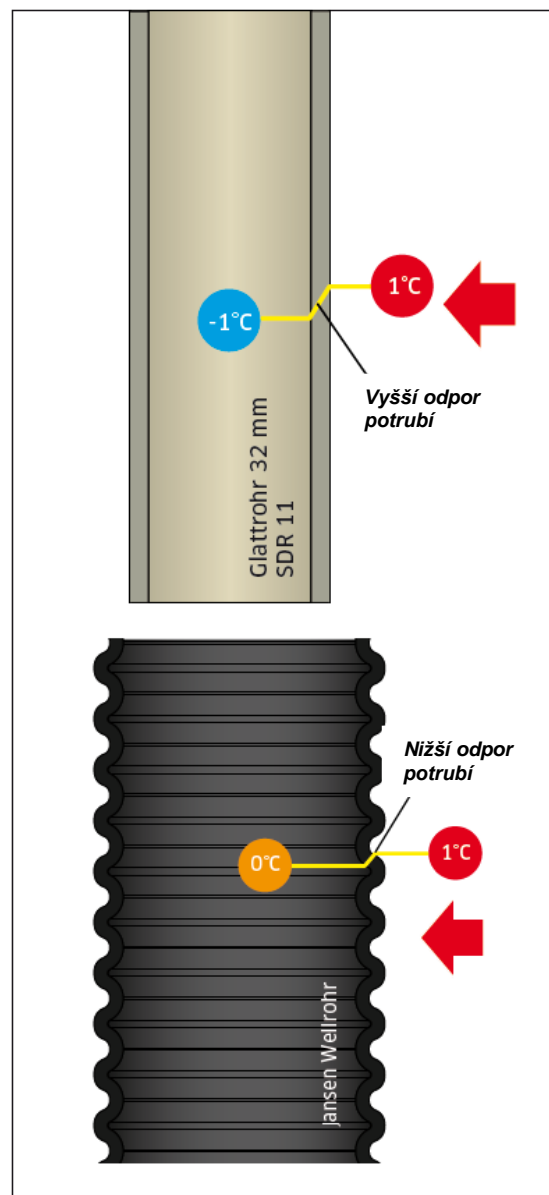
To znamená: Potrubí JANSEN Powerwave využívá stávající energetický zásobník v zemi mnohem efektivněji a lépe. Pokud tuto rovnici otočíte, můžete také říci: Potrubí JANSEN Powerwave si pro dosažení stejného výkonu vystačí s nižším teplotním rozdílem: Teplota v zemi zůstává vyšší.

## Laboratorní měření

Testy ve vodní lázni rovněž ukazují lepší výkon vlnitého potrubí JANSEN ve srovnání s klasickým hladkým potrubím:

Typ potrubí	Výkon při odběru ve vodní lázni (související s délkou potrubí) W/m
Hladké potrubí 32 mm	28,72
Hladké potrubí 40 mm	46,00
JANSEN Pow. 63 mm	59,45

Tyto laboratorní hodnoty slouží ke srovnání a nemohou být použity pro návrh geotermálních systémů. Poznámka: Konvenční chování ve vodě.



Díky nižšímu odporu vlnitého potrubí JANSEN Powerwave zůstává půda na stejné teplotní úrovni s vyšší kapacitou potrubí.

Výpočet Fourier s ~ 25 W/m

Jansen AG

**Plastic Solutions**  
Industriestrasse 34  
9463 Oberriet  
Schweiz  
[jansen.com](http://jansen.com)

**JANSEN**  
Configure to Inspire