

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh systému vytápění bytového domu

Design of a Heating System for an Apartment Building

Vypracovala:

Bc. Iva Sedlmajerová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Bc. Sedlmajerová</u>	Jméno: <u>Iva</u>	Osobní číslo: <u>468482</u>
Zadávající katedra: <u>K125 - Katedra technických zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor: <u>Budovy a prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Návrh systému vytápění bytového domu</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Design of a heating system for a apartment building</u>	
Pokyny pro vypracování: Projekt vytápění zadané budovy bytového domu Textová část - technická zpráva, výpočet tepelných ztrát, návrh trasy soustavy vytápění, návrh dimenzí rozvodů, základní energetické výpočty. Výkresová část - půdorysy, svislý řez, řešení technické místnosti	
Studie na téma <u>Využití energie základových konstrukcí</u>	
Seznam doporučené literatury: Kabele, Karel : TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV. Vytápění. ČVUT. Praha 2014. ISBN 978-80-01-05203-7 ČSN EN 12831 -1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. ČSN EN 12828 A1 Tepelné soustavy v budovách - Navrhování teplovodních otopných soustav. Daniels, Klaus: Technika budov - Příručka pro architekty a projektanty. Jaga 2003. ISBN 80-88905-60-5.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>24.9.2021</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>2.1.2022</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Návrh vytápění bytového domu“ vypracovala samostatně a s použitím uvedené literatury a podkladů.

Ve Chvalovicích, dne

.....

Bc. Iva Sedlmajerová

Poděkování

Chtěla bych vyjádřit poděkování doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost při konzultacích a cenné rady při zpracování této diplomové práce.

Obsah diplomové práce:

Studie: Využití energie základových konstrukcí

Projekt vytápění bytového domu:

- Část A – Technická zpráva
- Část B – Výpočtová část
- Část C – Výkresová část
- Část D – Tlakové ztráty a regulace otopné soustavy
- Část E – Technické listy

Anotace:

Tato diplomová práce je složená ze dvou částí. První částí je studie, která se zabývá energetickými základovými konstrukcemi. Nejdříve jsou shrnuty důležité informace jako jsou režimy využívání, výhody a nevýhody a specifika návrhu. Poté jsou popsány jednotlivé typy energetických základových konstrukcí. Druhou částí je zpracování projektu vytápění bytového domu v Praze.

Klíčová slova:

obnovitelné zdroje energie, energetické základové konstrukce, tepelné čerpadlo, energie prostředí, vytápění, podlahové vytápění

Annotation:

This thesis consists of two parts. The first part is a study that deals with energy foundation structures. Firstly, important information such as modes of use, advantages and disadvantages and design specifics are summarized. Then the different types of energy foundation structures are described. The second part is the design of a heating project for an apartment building in Prague.

Key words:

renewable energy, energy foundation construction, heat pump, environmental energy, heating, floor heating

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh vytápění bytového domu

Studie: Využití energie základových konstrukcí

Vypracovala:

Bc. Iva Sedlmajerová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2021/2022

Obsah

1. Úvod	4
2. Energetické základové konstrukce.....	5
2.1. Části termo-aktivního systému [2].....	5
2.2. Provozní režimy	6
2.3. Výhody a nevýhody energetických základových konstrukcí	7
2.4. Specifika návrhu	8
2.4.1. Výkon primárního okruhu	8
2.4.2. Tepelná vodivost zeminy a její měření.....	9
2.4.4. Teplotní ovlivnění	11
2.4.5. Montáž potrubí [18].....	12
2.5. Chladivo primárního okruhu [20].....	13
3. Energetické piloty	13
3.1. Možnosti pokládky potrubí [7].....	13
3.2. Provádění pilot.....	16
4. Energetické základové desky.....	18
4.1. Pokládka potrubí	18
4.2. Provádění základové desky	19
5. Energetické základové stěny.....	20
5.1. Pokládka potrubí.....	20
5.2. Provádění milánské stěny	21
6. Využití základových konstrukcí pro chlazení objektu	21
6.1. Pasivní chlazení („free cooling“)	22
6.2. Aktivní chlazení.....	22
7. Příklady aplikací.....	23
8. Závěr.....	27

9.	Seznam obrázků	28
10.	Seznam tabulek.....	28
11.	Seznam použité literatury.....	29

1. Úvod

V průběhu předchozích let se postupně zvyšovaly požadavky na energetickou náročnost budov (ENB). K výraznému zpřísnění v této oblasti došlo v roce 2022, kdy vyšla v účinnost druhá fáze vyhlášky o ENB č. 264/2020 Sb. Aby novostavby vyhověly novým požadavkům, je zapotřebí klást důraz na správný návrh tvaru a zateplení konstrukcí obálky budovy, maximalizovat solární zisky správnou orientací objektu vůči světovým stranám a v neposlední řadě snížení hodnoty neobnovitelné primární energie využití v objektu. A právě snížení primární energie vede k využívání obnovitelných zdrojů energie.

Obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou takové zdroje, které se přirozeně obnovují oproti neobnovitelným zdrojům v poměrně krátkém časovém měřítku (doba života člověka). Mezi obnovitelné zdroje energie se řadí solární energie, energie větru, vody, geotermální energie, biomasa nebo energie prostředí. [1]

V poslední době se čím dál častěji navrhuje tepelná čerpadla, jako zdroj tepla, která využívají energii prostředí (vzduchu, vody nebo země), Nejčastěji používaným typem tepelného čerpadla je TČ vzduch/voda nebo země/voda. Jelikož je zemina méně ovlivňovaná teplotami venkovního prostředí než vzduch, lze tepelnou energii na vytápění nebo chlazení získávat efektivněji než ze vzduchu. Nejčastěji bývá energie země čerpána pomocí geotermálních vrtů nebo zemních kolektorů. Další, ne tak známou možností, jsou energetické základové konstrukce (energetické piloty, základové desky nebo stěny), kterými se tato studie zabývá.

2. Energetické základové konstrukce

Od 80. let 20. století došlo k velkému rozvoji energetických základů. Největší rozvoj energetických základů je sledován v Rakousku, kde se celkový počet ročně instalovaných energetických pilot různých průměrů zvýšil ze 7 000 až na téměř 100 000. Mimo energetické piloty je zde hojně využíváno i suterénních stěn nebo například stěn tunelů metra. Koncept energetických základů se postupně rozšiřuje do celého světa. [2]

Energetické základové konstrukce slouží jako primární okruh tepelného čerpadla země/voda. Jedná se o nosnou konstrukci objektu v kontaktu se zemínou, ve které je uloženo potrubí s chladivem, sloužící k přenosu tepelné energie mezi zemním masivem a otopnou (chladící) soustavou objektu za pomoci tepelného čerpadla.

Princip energetických základů je podobný jako u geotermálních vrtů nebo zemních kolektorů. Hlavním rozdílem je uložení potrubí. U běžných zemních systémů se potrubí nachází přímo v kontaktu se zemínou. U energetických základů je potrubí připevněno k vnitřní straně výztuže železobetonové konstrukce, tudíž potrubí se zemínou v kontaktu není.

2.1. Části termo-aktivního systému [2]

Celý termo-aktivní systém se dělí do dvou okruhu: primární a sekundární.

Primární okruh slouží k odebrání tepelné energie zemnímu tělesu. Je tvořený potrubním systémem, uloženým v železobetonových základových konstrukcích, ve kterém proudí teplotonosná látka, tzv. chladivo. Trubní systém je rozdělen na jednotlivé segmenty (v případě pilot na jednotlivé piloty), které se následně spojují v rozdělovači a sběrači primárního okruhu.

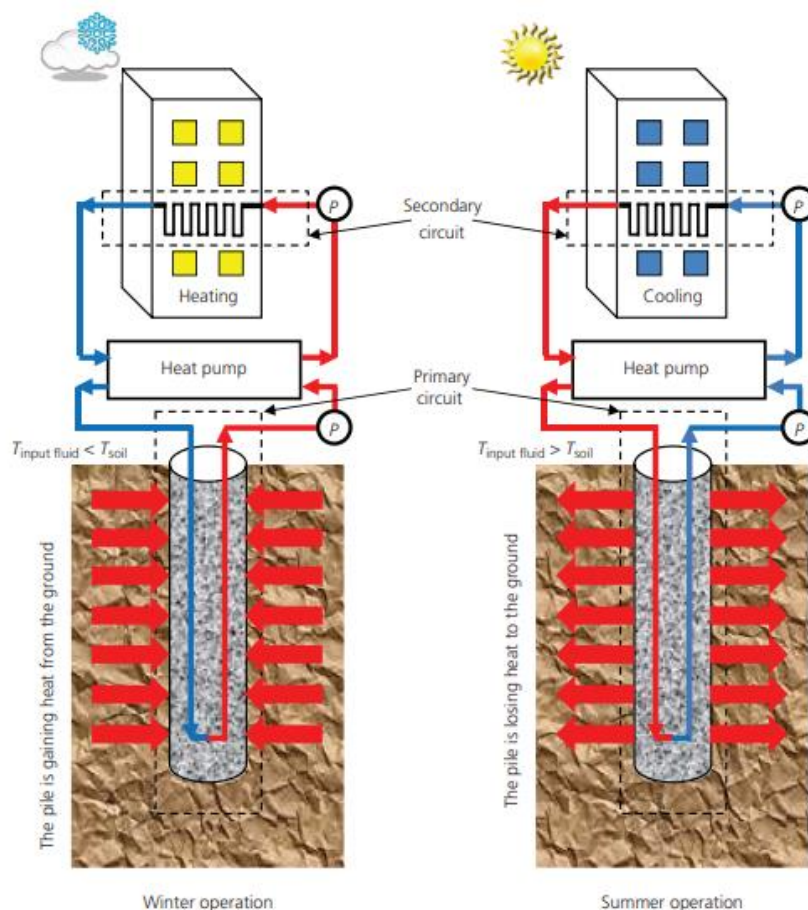
Tepelná energie, získaná primárním okruhem, je předávána pomocí tepelného čerpadla sekundárnímu okruhu. Sekundárním okruhem je už samotný topný nebo chladící systém v objektu.

2.2. Provozní režimy

System energetických základových konstrukcí může pracovat ve dvou režimech: čistě topný nebo chladicí režim a celoroční režim, který kombinuje vytápění (v zimě) a chlazení (v létě). [3]

Čistě topný (chladicí) režim není tak často využíván jako celoroční režim. Tento provozní režim se využívá, pokud chceme čerpat energii v zimním období pro vytápění a v létě dochází k přirozené regeneraci energie země nebo naopak v létě pro čerpání chladu a regeneraci v zimním období. Čistě topný (chladicí) režim je vhodnější využívat v lokalitách se silně zavodněnou zemínou s velkým prouděním podzemní vody. Využití tohoto režimu má své nevýhody. Čerpání pouze jednoho „druhu“ energie může zapříčinit rychlejší vyčerpání energetického potenciálu země. Další nevýhodou, zejména u čerpání tepla v zimním období, může dojít k výraznému snížení teploty v podzákladové půdě a tím narušení správné funkce základové konstrukce. Po zbytek roku, kdy se zemina regeneruje, nemusí dojít k dostatečnému zahřátí zeminy a na začátku topné sezóny je zemina chladnější než před rokem, což zvyšuje riziko promrzání. Kvůli těmto nevýhodám se častěji navrhuje celoroční režim.

Celoroční režim během roku využívá jak teplo, tak chlad země. Energetické piloty se často využívají také pro akumulaci tepla ať už v konstrukci piloty, nebo z části v okolní zemině. V zimě, kdy čerpáme teplo, dochází k ochlazení okolí piloty a posléze i akumulaci chladu pro letní období. V létě využíváme chlad naakumulovaný v materiálu ze zimního období. Tím že čerpáme chlad, dochází k zahřívání piloty a jejího okolí, a tedy i k akumulaci tepla. Takto naakumulované teplo je opět využito v zimním období. Velkou výhodou tohoto režimu je téměř nekonečné čerpání energie bez toho, aniž by byl vyčerpán energetický potenciál zeminy.



Obrázek 1 Chování energetické piloty během zimního a letního období [6]

2.3. Výhody a nevýhody energetických základových konstrukcí

Využití energetických základových konstrukcí pro získávání tepelné energie přináší řadu výhod, ale i nevýhod.

Výhody:

- Dlouhá životnost;
- Bezúdržbovost;
- Z dlouhodobého hlediska ekonomické řešení;
- Ekologické (nevzniká další znečištění, např. CO₂);
- Využití pro vytápění i chlazení objektu – snížení nákladů na provoz objektu;
- Využití energie země jakožto obnovitelného zdroje energie;
- Zemní výměník využívá prostoru konstrukcí objektu – vhodné zejména v městské zástavbě, kde není pozemek pro instalaci;

- Nižší náklady na instalaci oproti běžným zemním výměníkům (nejsou další náklady na zemní práce); [2]
- Možnost kombinace s jinými typy primárních okruhů tepelných čerpadel.

Nevýhody:

- S využitím základových konstrukcí pro čerpání tepelné energie je potřeba počítat již v prvotní fázi projektu;
- Potrubí je instalováno přímo v základové konstrukci, v případě poruchy není možná oprava;
- U systémů s výkonem nad 30 kW je potřeba provést podrobnější výpočty a simulaci chování podzákladové půdy;
- Špatný návrh systému může negativně ovlivnit funkci základu;
- U velkých systémů s vysokým počtem prvků (zejména energetických pilot), je zapotřebí vymezit dostatečný prostor pro rozdělovač a sběrač potrubí primárního okruhu.

2.4.Specifika návrhu

Pro to, abychom mohli systém nadimenzovat je potřeba znát několik parametrů jako jsou informace o dané základové konstrukci (využitelná plocha konstrukce, v případě pilot průměr, jejich délka a počet), druh použitého betonu a v neposlední řadě geologické poměry v podzákladové půdě.

2.4.1. Výkon primárního okruhu

Energetické základy se obvykle navrhují tak, aby pokryly celou potřebu tepla daného objektu. V případě, že potřebného výkonu není dosaženo, se energetické základové konstrukce obvykle kombinují s geotermálními vrty, které se umísťují buď v rámci půdorysu objektu, nebo mimo něj.

To, jaký výkon ve skutečnosti bude primární okruh mít, ovlivňuje tepelná vodivost zeminy.

Výkon lze předběžně určit pomocí hodnot specifického odběrového výkonu (viz Tabulka 1). U energetických pilot jsou tyto hodnoty obdobně jako u geotermálních vrtů vztaženy na délku piloty (vrtu). Hodnoty specifického odběrového výkonu pro základové desky a stěny jsou uváděny na plochu konstrukce, ve které je potrubí instalováno.

2.4.2. Tepelná vodivost zeminy a její měření

Hlavní roli při navrhování energetických pilot hraje tepelná vodivost zeminy. Lze říci, že čím je větší tepelná vodivost zeminy, tím více energie jsme schopni ze země získat, než dojde k vyčerpání jejího potenciálu.

Nejvhodnější typem zeminy pro zemní výměníky jsou písky nebo štěrky s velkým prouděním podzemní vody. Podle toho, jaký typ zeminy se na pozemku nachází lze předběžně vypočítat tepelný výkon systému energetických základů (viz tabulka 1). [3]

Provozní hodiny Podloží	1800 h	2400 h
	specifický odběrový výkon v W/m sondy	
Obecné orient. hodnoty:		
Špatné podloží (suchý sediment) ($\lambda < 1,5 \text{ W/mK}$)	25	20
Normální pevná hornina a vodou nasyčený sediment ($\lambda < 3,0 \text{ W/mK}$)	60	50
Pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí ($\lambda < 3,0 \text{ W/mK}$)	84	70
Jednotlivé horniny:		
Štěrka, písek, suchý	< 25	< 20
Štěrka, písek, vodonosný	65–80	55–85
Při silném toku podzemní vody v štěrku a písku, pro jednotlivá zařízení	80–100	80–100
Hlína, jíl, vlhké	35–50	30–40
Vápenec (masiv)	55–70	45–60
Pískovec	65–80	55–65
Kyselé magmatity (např. žula)	65–85	55–70
Bázické magmatity (např. čedič)	40–65	35–55
Rula	70–85	60–70

Tabulka 1 Specifické odběrové výkony [10]

Ke stanovení tepelné vodivosti zeminy se používá test teplotní odezvy (TRT).

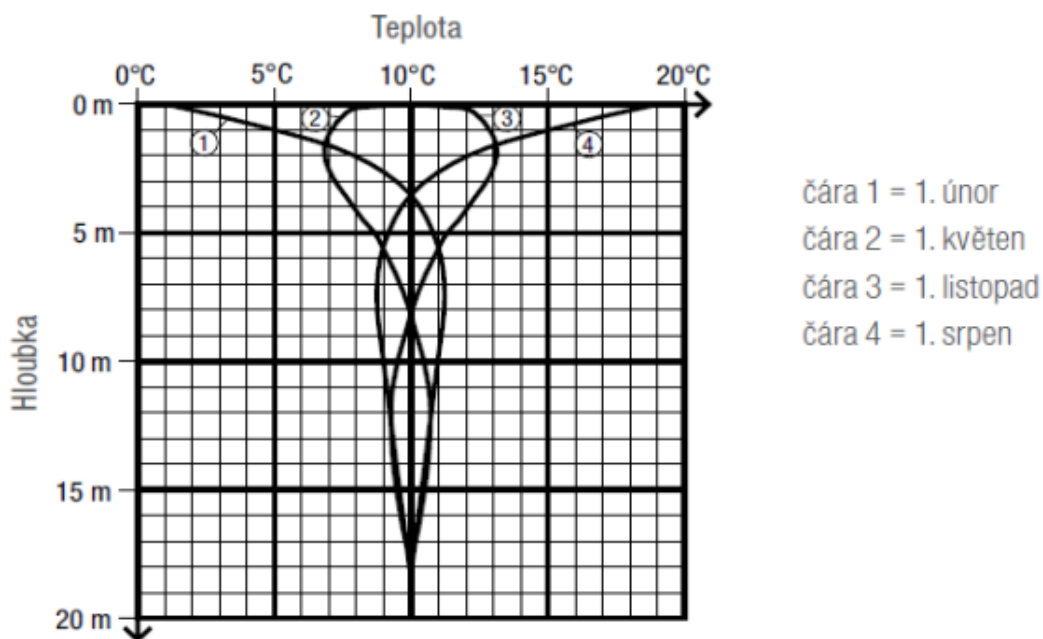
TRT je zkouška, která probíhá přímo na staveništi. Po dobu 3 dnů se nechá ve vrtu cirkulovat teplá voda, zaznamenává se vývoj teplot, ze kterého je poté vypočtena tepelná vodivost zeminy.

Provedení této zkoušky je doporučováno pro tepelná čerpadla země/voda s vyšším výkonem (nad 30 kW). [11]

2.4.3. Rozložení teploty v zemině

Velký vliv na účinnost termo-aktivního systému má teplota zeminy v okolí energetické základové konstrukce. Teplota v zemině se v průběhu roku mění. Venkovní teplota vzduchu ovlivňuje teplotu v zemině podle toho, v jaké hloubce se nacházíme (viz obrázek 3).

Teplota zeminy nejvíce kolísá v hloubce 1,2 – 1,5 m. Obecně platí, že v čím větší hloubce se nacházíme, tím méně teplota zeminy kolísá. Okolo 18 m hloubky a níže se teplota ustaluje na 10 °C. Teplota v zemině pozvolna stoupá s hloubkou, ve které se nacházíme. Uvádí se, že na 100 metrů hloubky teplota vzroste o 2 až 3 °C. Energetické základové konstrukce ale obvykle takových hloubek nedosahují. [18]



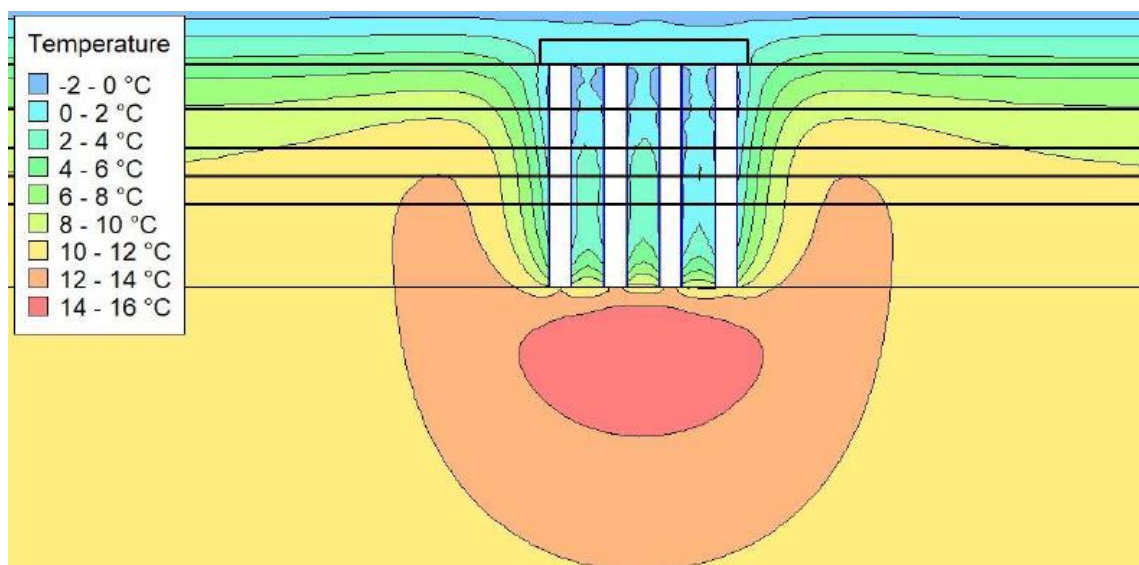
Obrázek 2 Rozložení teploty v zemině v závislosti na ročním období a hloubce [18]

2.4.4. Teplotní ovlivnění

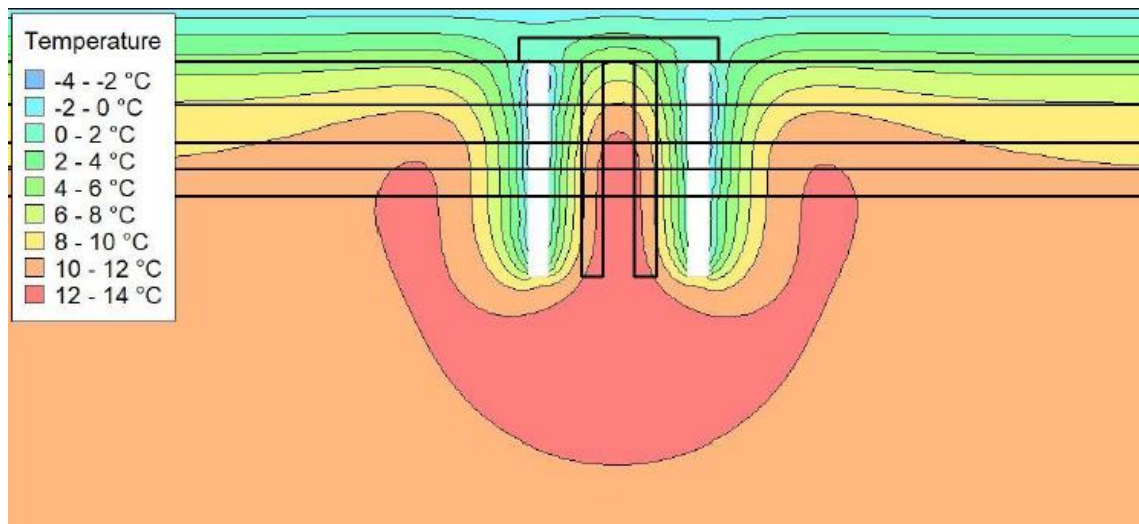
Jelikož v zemině okolo energetické konstrukce dochází k odebírání tepelné energie, je důležité systém navrhnout tak, aby nedocházelo k nadměrnému snížení teploty okolí a tím i k namrzání okolní zeminy.

Následující obrázky jsou výstupem simulace rozložení teploty v zemině okolo energetických pilot pro měsíc únor. Jedná se o období, kdy je ze zeminy čerpáno teplo a dochází k akumulaci chladu. Pro porovnání zde uvádím dvě situace. Na prvním obrázku jsou znázorněny energetické piloty umístěné s osovou vzdáleností 2 metry a na druhém 6 metrů. Z obrázků vyplývá, že je potřeba energetické piloty navrhovat s dostatečným rozestupem. Energetické piloty umístěné blíže k sobě se vzájemně teplotně ovlivňují. Dochází k výraznějšímu ochlazování okolní zeminy než v druhém případě, což může snížit účinnost celého termo-aktivního systému.

Nadměrné snižování teploty v zemině může vést i jejímu namrzání. U pilot s osovou vzdáleností 2 metry dochází k namrzání zeminy okolo hlav pilot, kdežto u pilot s osovou vzdáleností 6 metrů k namrzání nedochází. Namrzání zeminy v okolí základových konstrukcí může negativně ovlivnit jejich nosnou funkci.



Obrázek 3 Rozložení teploty v zemině – osová vzdálenost energetických pilot 2 metry [19]



Obrázek 4 Rozložení teploty v zemině – osová vzdálenost energetických pilot 6 metrů [19]

2.4.5. Montáž potrubí [18]

Potrubí je během betonáže základových konstrukcí vystaveno proudění betonové směsi, proto se pro jeho výrobu používá vysokohustotní polyetylen s se zvýšenou odolností proti oděru.

Aby bylo potrubí dostatečně chráněno a zároveň nebyla lokálně ztenčena tloušťka krycí vrstvy výztuže základové konstrukce je potrubí připevněno k vnitřní straně armokoše. Potrubí je upevňováno po 0,5 m jeho délky a také v oblasti změny směru vedení.

Potrubí je na výstupu z konstrukce zkráceno a opatřeno chráničkou (tzv. husím krkem). Chráničkou je potrubí opatřeno i při prostupu konstrukcí u sběrného místa.

Před tím, než je základová konstrukce zabetonována, je v potrubí nastaven zkušební tlak 6 barů, aby během rozpínání betonové směsi nedošlo ke zmáčknutí trubky.

Po samotné betonáži je opět provedena tlaková zkouška. Tato zkouška má odhalit případné poruchy potrubí.

Potrubí z jednotlivých segmentů primárního okruhu je svedeno do rozdělovače a sběrače, kde dochází k měření teploty chladiva. V případě naměření velmi nízkých teplot dojde k odstavení systému.

2.5.Chladivo primárního okruhu [20]

Chladivo primárního okruhu je teplotonosná kapalina proudící v potrubí, umístěném v základových konstrukcích, která odebírá teplo (chlad) zemnímu masivu a dodává ho tepelnému čerpadlu.

Je potřeba, aby bylo chladivo odolné proti zamrznutí. Jedná se tedy o směs vody a monoethylenglykolu (obvykle v poměru 75 a 25 %). Takto namíchaná směs je odolná proti zamrznutí až do teploty -14 °C. Chladivo je namícháno před samotným plněním trubek, aby během plnění nedošlo při nedostatečném promíchání k zamrznutí v potrubí. Množství potřebného chladiva se odvíjí podle rozměrů a délky potrubí.

3. Energetické piloty

Energetické piloty jsou hlubinné základy, díky nimž lze čerpat energii ze země. Hlubinné základy jsou nejčastěji navrhovány pro objekty, které jsou zakládány na málo únosných zeminách nebo v lokalitách, kde je hladina podzemní vody vysoko a dochází zde k jejímu proudění. Energetické piloty se chovají obdobně jako geotermální vrty.

3.1.Možnosti pokládky potrubí [7]

Potrubí s chladivem je připevněno k vnitřní straně výztuže piloty. Je několik způsobů, jak potrubí pokládat.

Spirála

Uložení potrubí do spirály je jednou z nejčastěji navrhovaných možností. Potrubí je pokládáno v jednotném sklonu podél vnitřní strany armokoše. Tato možnost je nejvýhodnějším způsobem pokládky, protože dochází k odebírání tepla z větší plochy, než je tomu u ostatních možností. Dalšími přednostmi je rychlost instalace a cena. Pokládku potrubí do spirály je

vhodné využít u pilot vyšších průměrů. Materiál potrubí umožňuje ohyb trubek nad určitý průměr, proto je vhodnější využít potrubí s nižší pružností.



Obrázek 5 Energopiloty – uložení potrubí – spirála [7]

Meandr

Další častou možností je pokládání potrubí do meandru. Potrubí je pokládáno po výšce pilot, teplonosná látka tedy proudí střídavě od hlavy k patě piloty. Výhodou tohoto řešení je, že ho lze využít pro piloty téměř všech průměrů. Jako hlavní nevýhoda se jeví vyšší tlakové ztráty potrubí (kvůli ohybu potrubí u hlavy a paty piloty), což zvyšuje nároky na oběhové čerpadlo.



Obrázek 6 Energopiloty – uložení potrubí – meandr [3]

Jednotlivé smyčky

Toto řešení je obdobné jako meandr. Hlavní rozdíl je v tom, že se smyčky nepokládají za sebou, ale každá zvlášť. Díky tomu, že se každá smyčka pokládá zvlášť, vznikají nižší tlakové ztráty než u meandru. Toto řešení je velmi nákladné a neumožňuje kontrolu průtoků teplotonosné kapaliny v potrubí.



Obrázek 7 Energopiloty – uložení potrubí – jednotlivé smyčky [7]

Sonda

Tato možnost je vhodná zejména pro zarážené piloty, potažmo mikropiloty. Prvním krokem je zarážení ocelové trubky do potřebné hloubky. Do trubky je poté spuštěna zemní sonda a trubka je následně zalita betonovou směsí.



Obrázek 8 Energopiloty – uložení potrubí – sonda [7]

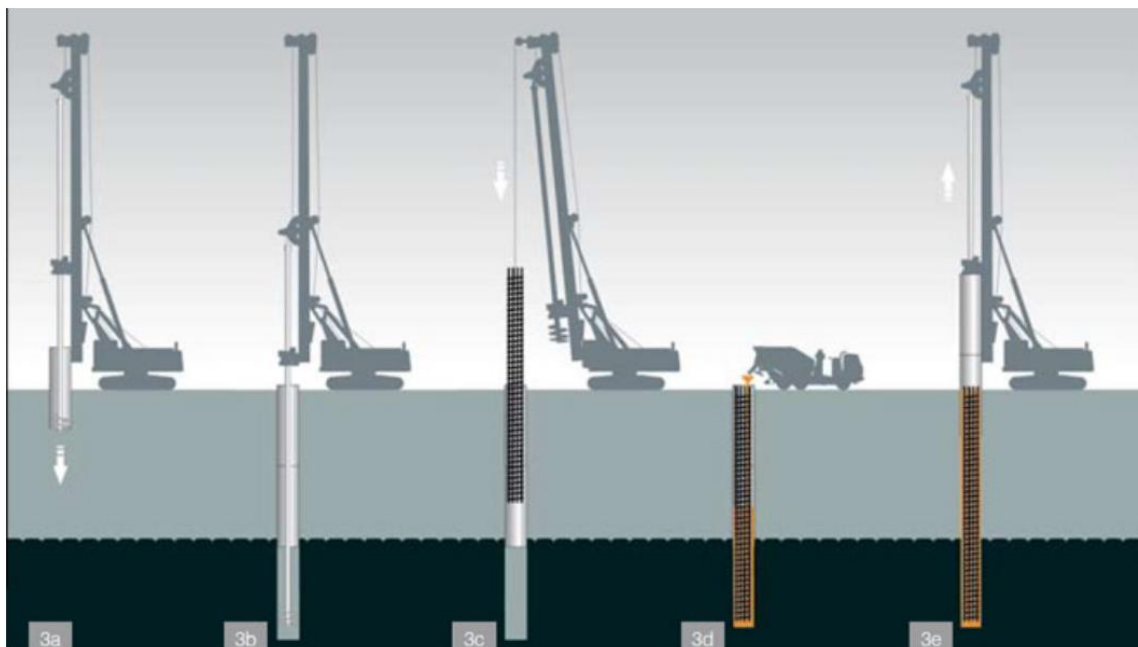
3.2.Provádění pilot

Aby nedocházelo k vzájemnému tepelnému ovlivňování, je vhodnější navrhovat energetické piloty jako osamělé. Existuje několik různých technologií provádění pilot. Nejznámější jsou vrtané a ražené piloty.

Vrtané piloty

Vrtané piloty se řadí mezi nejčastěji využívané technologie provádění pilot v ČR. Vrt pro pilotu se obvykle provádí pomocí vrtného šneku nebo u větších průměrů pilot pomocí drapáku. Vrty se mohou provádět jako nepažené nebo pažené (pomocí ocelové pažnice nebo pažící suspenze). Vrtné nástroje a způsob pažení vrtu se volí na základě druhu zeminy. Nepažené vrty se volí v případě soudržných zemin, kdy nehrozí nebezpečí zborcení stěn vrtu. V případě použití ocelové pažnice dochází k jejímu zasouvání do vrtu společně s hloubením vrtu. Po dosažení potřebné hloubky je vrtný nástroj vysunut, do vrtu je poté vložen armokoš piloty a vrt se zalije betonem. Před ztuhnutím betonu dojde k odstranění ocelové pažnice.

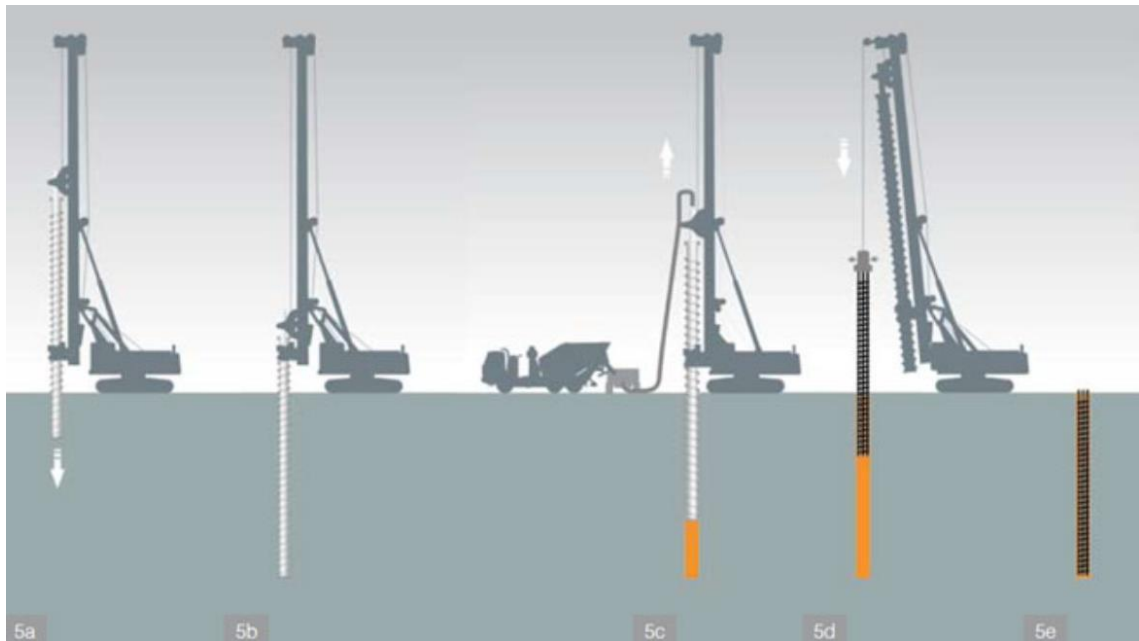
[8]



Obrázek 9 Technologický postup – vrtané piloty [8]

Další možností je využití metody CFA. Vrtání probíhá pomocí průběžného vrtného šneku. Po dosažení požadované hloubky dojde k betonáži piloty

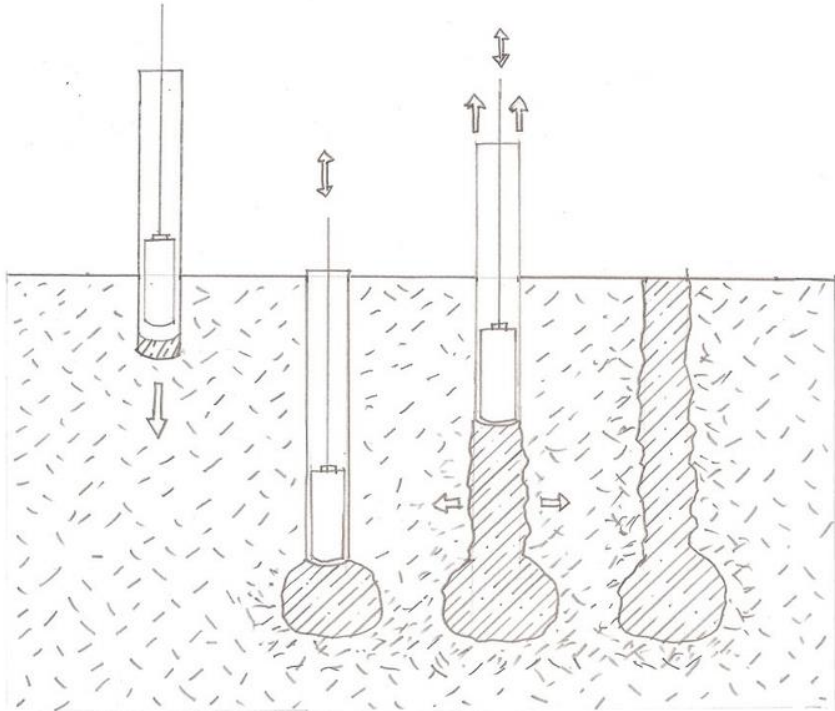
za současného vytahování vrtného šneku. Do čerstvého betonu je poté zatlačen armokoš. [8]



Obrázek 10 Technologický postup – vrtané piloty, metoda CFA [8]

Ražené piloty (Franki piloty)

Další možností provádění pilot jsou piloty ražené, často označované jako Franki piloty. Technologie provádění je založena na zarážení ocelové pažnice, která je na spodním konci opatřena betonovou zátkou, do zeminy pomocí beranu. Na rozdíl od pilot vrtaných, není zemina těžena na povrch, ale je roztlačována do okolních stran. Po dosažení dostatečné hloubky dojde k vytlačení zátky z pažnice pomocí většího rázu. Během vytahování beranu a pažnice je do vzniklého prostoru vháněna betonová směs a beranem následně hutněna. [9]



Obrázek 11 Technologický postup – ražené piloty [9]

4. Energetické základové desky

Energetické základové desky jsou plošné základové konstrukce. Základové desky se navrhují u objektů, kde nelze zajistit stejnorodé sedání v důsledku rozdílných vlastností podzákladové půdy, nebo v zavodněných oblastech pro zajištění izolace proti proniknutí podzemní vody. Energetické základové desky se chovají obdobně jako zemní kolektory. Základové desky se často kombinují s hlubinnými základy (pilotami).

4.1. Pokládka potrubí

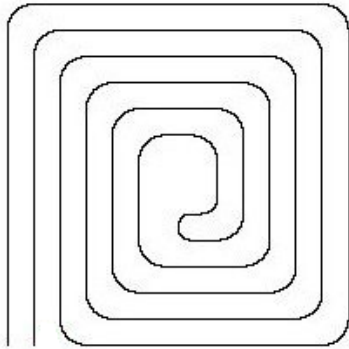
Potrubí je pokládáno na spodní výztuž základové desky. Po položení a připevnění potrubí k výztuži se provede horní výztuž desky a následně se zabetonuje. Základová deska, jako jediná energetická základová konstrukce, umožňuje pokládat potrubí přímo na místo, kde bude zabetonována.

Jelikož se obvykle jedná o velkoplošný systém, je vhodné celou plochu rozdělit na podobně velké segmenty. Při použití jednoho kusu potrubí by se snížila účinnost celého systému. Proudící chladivo by se postupně dostalo do bodu rovnováhy s okolní zeminou a další energii by nepřijímalo.

Potrubí lze pokládat různými způsoby:

Dvojitý meandr (šnek)

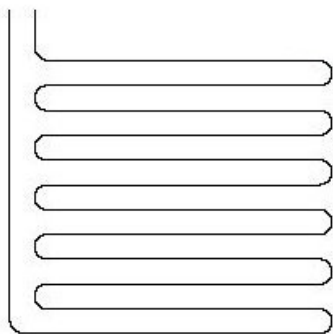
Potrubí je pokládáno tak, že je chladnější potrubí ohříváno teplejším.



Obrázek 12 Základová deska – uložení potrubí – dvojitý meandr [21]

Klasické uložení

U klasického uložení dochází k rovnoměrnému čerpání energie.



Obrázek 13 Základová deska – uložení potrubí – klasické uložení [21]

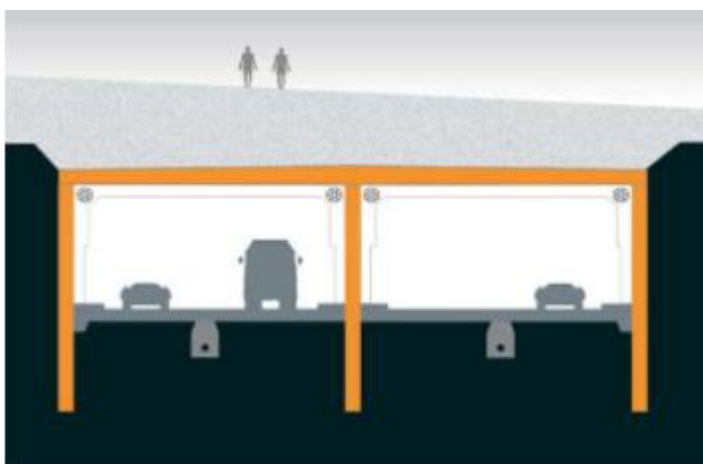
4.2. Provádění základové desky

Jelikož se jedná o horizontální konstrukci je provádění základové desky technologicky jednodušší než u pilot nebo základové stěny.

Nejprve se vyhloubí prostor až na základovou spáru (místo, kde se konstrukce stýká se zeminou). Po vyhloubení se provede začištění prostoru budoucí základové desky. Pokud je to potřeba, provede se bednění konstrukce. Do tohoto vymezeného prostoru se vloží ocelová výztuž a následně se zalije betonovou směsí.

5. Energetické základové stěny

Stejně jako piloty a základové desky lze využít pro čerpání tepelné energie základové stěny. Základové stěny neboli Milánské stěny jsou podzemní stěny, které plní během své životnosti dvě úlohy. V průběhu výstavby objektu zajišťuje základová stěna staveniště jako pažící konstrukce. Stěna zamezuje pádu zemního masivu do stavební jámy a zároveň slouží jako vodotěsná clona. Základová stěna poté slouží i jako obvodové zdivo spodní stavby objektu. Milánské stěny mohou sahát až do hloubky 40 metrů pod povrch. [22]



Obrázek 14 Podzemní stěna [23]

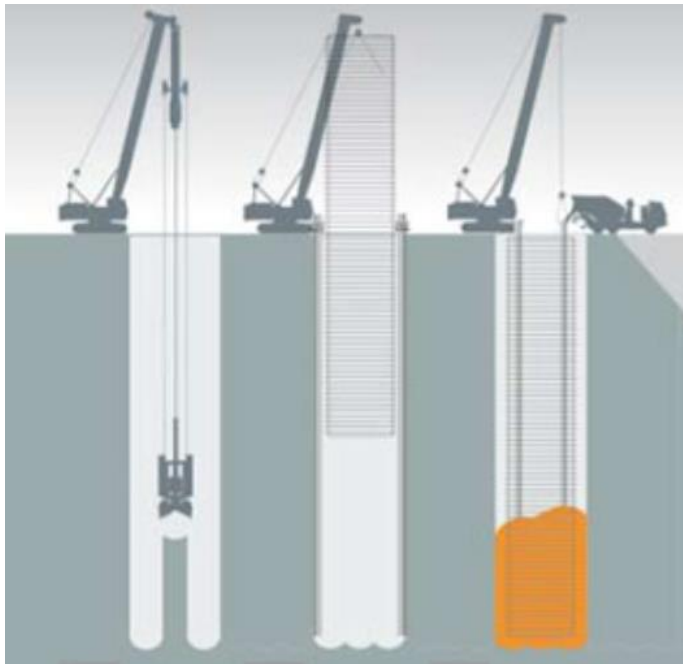
5.1. Pokládka potrubí

Potrubí je stejně jako u předchozích konstrukcí připevňováno ke straně výztuže, která je blíže zemnímu masivu. Jelikož se jedná o deskovou konstrukci, lze potrubí pokládat obdobným způsobem, jako tomu je u základových desek. Potrubí je ale instalováno mimo místo umístění stěny.

5.2. Provádění milánské stěny

Před samotnou těžbou zemního masivu je provedena vodící zídka, které určuje polohu budoucí stěny. Poté je provedena samotná těžba pomocí drapáku, v případě větší šířky stěny pomocí hydrofrézy. V průběhu těžby je do rýhy čerpána pažící suspenze. Po tom, co je dosaženo požadované hloubky, je do rýhy naplněné suspenzí, spuštěn armokoš. S postupem betonáže je pažící suspenze vytlačována a odčerpávána. Po zatvrdnutí betonu lze stěnu postupně odkrýt a po výšce zakotvit, aby nedošlo k jejímu zhroucení v důsledku tlaku zemního masivu.

Kotvení podzemní stěny by mohlo při špatném návrhu a provedení způsobit narušení potrubí. [23]



Obrázek 15 Technologický postup – základová stěna [23]

6. Využití základových konstrukcí pro chlazení objektu

Primární okruhy tepelných čerpadel země/voda lze s výhodou využít i pro chlazení objektu v letních měsících. Nejenom že je chlad získaný ze zeminy zadarmo, ale tím, že ze zeminy odebíráme chlad a dodáváme (akumulujeme) teplo, zvyšujeme energetický potenciál zeminy pro topnou sezónu.

Jsou dva hlavní typy chlazení – aktivní a pasivní.

6.1.Pasivní chlazení („free cooling“)

Pasivní chlazení je oproti aktivnímu méně efektivní. Je ale energeticky méně náročné, protože využívá toho, že je teplota zeminy okolo primárního okruhu nižší než teplota v interiéru.

Vzhledem k tomu, že využíváme pouze chlad zeminy, je vhodné pro chlazení interiéru využít teplosměnné plochy jako jsou podlahy, stropy, stěny nebo například využít aktivace betonového jádra.

U tohoto typu není v provozu tepelné čerpadlo, ale pouze oběhová čerpadla, která zajišťují oběh chladiva v primárním okruhu a teplotonosné kapaliny v chladicí soustavě. Chlad mezi primárním okruhem je předáván pomocí výměníku umístěného v tepelném čerpadle. Pro to, abychom mohli využít pasivního chlazení, je zapotřebí navrhnout tepelné čerpadlo, které je toho schopné, tedy obsahuje výše zmíněný výměník tepla. [20]

6.2.Aktivní chlazení

Efektivnějším typem chlazení je tzv. aktivní chlazení. Aktivní chlazení je využíváno v případě, že potřebujeme, aby teplota teplotonosné kapaliny byla nižší, než je primární okruh schopen dodat. Oproti pasivnímu chlazení, není potřeba žádná speciální úprava tepelného čerpadla.

Vzhledem k tomu, že lze dosáhnout nižších teplot teplotonosné (chladicí) kapaliny, lze využít menší teplosměnné plochy než u pasivního chlazení. Chladu z aktivního chlazení lze využít například ve vzduchotechnických jednotkách, fan-coilech a dalších systémech chlazení. [20]

7. Příklady aplikací

V následující kapitole jsou uvedeny příklady aplikací energetických základových konstrukcí nejen na území České republiky ale i v zahraničí.

AZ Tower

Mrakodrap AZ Tower je nejvyšší budovou České republiky lokalizovaná v Brně. Vzhledem ke svému architektonickému řešení a své jedinečnosti v ČR se objekt stal velmi atraktivním pro veřejnost. V budově se nachází nejen bytové jednotky ale i prostory pro obchod a administrativu. AZ Tower je navržena jako energeticky úsporná a šetrná k životnímu prostředí.

Jedním z úsporných řešení je využití hybridního systému větrání, tedy kombinace přirozeného a nuceného větrání. Objekt využívá solární energii pomocí fotovoltaických panelů, které pokrývají výtahovou šachtu. Takto vyrobená elektrická energie je využita přímo v jednotlivých zónách objektu.

[12]

Jako většina výškových budov je objekt založen na hlubinných základech – pilotách. Jelikož je objekt navržen jako energeticky šetrný, jsou základové piloty využity jako zdroj tepla a chladu. Celkově je pro získávání energie ze země instalováno okolo 12 km potrubí. Energetické piloty jsou využívány v celoročním režimu, slouží tedy jako akumulátory tepla v létě a chladu v zimních měsících. Objekt využívá 90 energetických pilot s topným výkonem 172 kW a chladícím výkonem 160 kW.

[13]

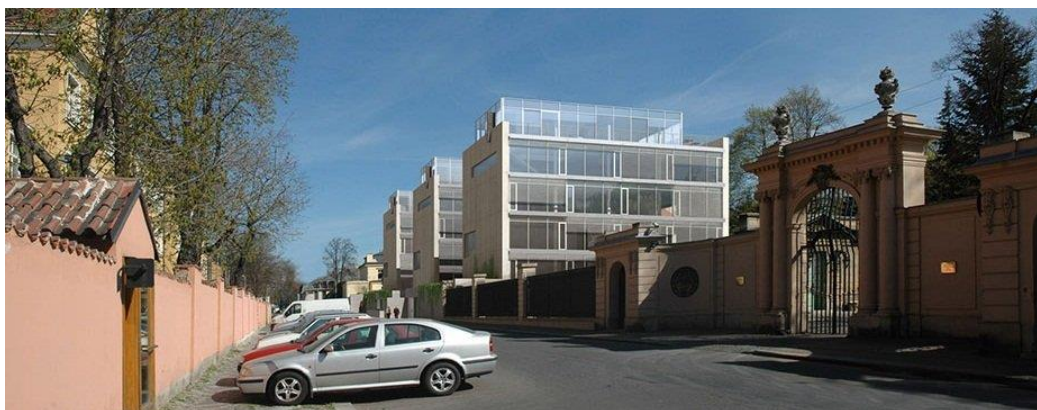


Obrázek 16 AZ Tower v Brně [12]

12 Lofts

Projekt 12 Lofts je soubor tří bytových domů s velmi luxusními byty lokalizovaný na Praze 6 – Bubenči. Stejně jako u AZ Tower se na projektu podílela společnost GEROTop. U těchto objektů bylo hlavním záměrem postavit objekt s co nejméně provozními náklady a zároveň maximálně prosvětlené interiéry pomocí prosklených ploch. U takto prosklených objektů v letních měsících vzniká riziko přehřívání interiéru, proto pro zajištění tepelného komfortu byla využita kombinace venkovních žaluzií a chlazení interiéru.

Jako zdroj chladu byly využity základové konstrukce. Celkově objekt využívá 78 energetických pilot o průměrech 620-900 mm dosahující hloubky až 13 m. Využita byla také celá základová deska o ploše 1575 m². Energetické piloty se základovou deskou poskytují 60 kW chladu, což výrazně snižuje energetickou náročnost budovy. [14]



Obrázek 17 12 Lofts [14]

Hala v Hämeenlinně (Finsko)

Na jaře v roce 2015 byla ve Finsku postavena první hala téměř s nulovou spotřebou energie. Hala byla postavena v areálu Univerzity aplikovaných věd Hämk a v současné době je využívána pro výzkum a vývoj. Objekt byl navrhnout s cílem hospodárného životního cyklu a využití obnovitelných zdrojů energie.

Na střeše haly byly instalovány solární kolektory, které spolupracují se základovou konstrukcí. Objekt je založen na 64 pilotách, které slouží k čerpání a ukládání tepelné energie. V letních měsících, kdy mají solární kolektory nejvyšší účinnost, dochází k akumulaci tepla v zemině pod objektem pomocí energetických pilot. Takto naakumulované teplo je využíváno v zimě pro vytápění haly. Tento objekt nevyužívá chlad z energetických pilot. Pro získávání chladu byla vybudována studna vyvrtaná do skály. [15]



Obrázek 18 Hala v Hämeenlinně [15]

Terminál E – letiště v Curychu (Švýcarsko)

V roce 2003 byl k letišti v Curychu přistavěn terminál E. Jelikož se na tomto území nachází jíly a bahnitá půda byl objekt založen na pilotách dosahující hloubky až 27 metrů v průměrech od 900 mm do 1500 mm, jedná se tedy o piloty velkopřůměrové. Celkový počet pilot je 350, z nichž 306 je využito jako energetické piloty. Energetické piloty jsou využívány v celoročním režimu, kdy je využito jak teplo, tak chlad. Celkový tepelný výkon pilot pokrývá zhruba 70 % celkové potřeby tepla na vytápění. Pro chlazení objekt využívá převážně tzv. free cooling (volné chlazení) a doplňkově tepelná čerpadla.

[16]



Obrázek 19 Terminál E – letiště v Curychu [17]

8. Závěr

S rostoucím požadavkem na snižování energetické náročnosti budov roste také nutnost využití obnovitelných zdrojů energie nejen v novostavbách. Mezi obnovitelné zdroje energie patří například solární energie, energie větru, vody, biomasa anebo energie prostředí.

Díky čím dál přísnějším požadavkům na energetickou náročnost, začínají být čím dál tím známější a populárnější tepelná čerpadla, která využívají energii prostředí. Energie prostředí je takový energie, kterou můžeme získat buď ze země, vody nebo vzduchu. Jedním ze stálých zdrojů energie je právě energie získaná ze země. Nejběžnějšími možnostmi, jak energii ze země čerpat, je prostřednictvím geotermálních vrtů nebo zemních výměníků.

Vzhledem k tomu, že se postupně zmenšuje volný prostor, který daný objekt obklopuje, je možné a hlavně výhodné využít pro čerpání tepelné energie základové konstrukce objektu. Konstrukce, které lze využít jako tzv. energetické jsou základová deska, piloty nebo základová stěna.

V České republice zatím toto řešení není příliš rozšířené ani známé tak jako v zahraničí. Věřím ale, že v budoucnosti bude využití základových konstrukcí pro získávání tepelné energie běžné jako zemní výměníky nebo geotermální vrty.

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 Chování energetické piloty během zimního a letního období [6]	7
Obrázek 2 Rozložení teploty v zemině v závislosti na ročním období a hloubce [18].....	10
Obrázek 3 Rozložení teploty v zemině – osová vzdálenost energetických pilot 2 metry [19].....	11
Obrázek 4 Rozložení teploty v zemině – osová vzdálenost energetických pilot 6 metrů [19]	12
Obrázek 5 Energopiloty – uložení potrubí – spirála [7].....	14
Obrázek 6 Energopiloty – uložení potrubí – meandr [3].....	14
Obrázek 7 Energopiloty – uložení potrubí – jednotlivé smyčky [7]	15
Obrázek 8 Energopiloty – uložení potrubí – sonda [7].....	15
Obrázek 9 Technologický postup – vrtané piloty [8].....	16
Obrázek 10 Technologický postup – vrtané piloty, metoda CFA [8].....	17
Obrázek 11 Technologický postup – ražené piloty [9].....	18
Obrázek 12 Základová deska – uložení potrubí – dvojitý meandr [21].....	19
Obrázek 13 Základová deska – uložení potrubí – klasické uložení [21]	19
Obrázek 14 Podzemní stěna [23].....	20
Obrázek 15 Technologický postup – základová stěna [23].....	21
Obrázek 16 AZ Tower v Brně [12]	24
Obrázek 17 12 Lofts [14]	25
Obrázek 18 Hala v Hämeenlinně [15].....	26
Obrázek 19 Terminál E – letiště v Curychu [17].....	26

10. Seznam tabulek

Tabulka 1 Specifické odběrové výkony [10].....	9
--	---

11. Seznam použité literatury

- [1] Obnovitelná energie. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Obnovitelná_energie
- [2] BRANDL, Heinz. *Thermo-active Ground-Source Structures for Heating and Cooling* [online]. 2013, 9 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813007352>
- [3] Geotermální výměníky – přidaná hodnota základových prvků. *IMateriály* [online]. Praha 5, 1.9.2016 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/tzb/geotermalni-vyemeniky-pridana-hodnota-zakladovych-prvku_43890.html
- [4] TRS, Milan. Využívání stavebních konstrukcí budov pro ukládání energie. *TZBinfo* [online]. 22.07.2008 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/4977-vyuzivani-stavebnich-konstrukci-budov-pro-ukladani-energie>
- [5] BURIAN, Pavel. Nové sídlo společnosti Metroprojekt v Argentinská Office Building. *Konstrukce* [online]. 15.10.2019 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://konstrukce.cz/architektura-a-development/nove-sidlo-spolecnosti-metroprojekt-v-argentinska-office-building-188>
- [6] *Energy piles: Current state of knowledge and design challenges* [online]. , 17 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: doi:10.1680/envgeo.13.00019
- [7] ENERGETICKÉ PILOTY. *GETRA* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.ge-tra.cz/problematiky/energeticke-piloty>
- [8] Piloty. *Zakládání staveb* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.zakladani.cz/cs/vyrobni-program/technologie/piloty>
- [9] Hlubinné základy: Jak se realizují piloty vrtané a ražené. *ESTAV.cz* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/5029.hlubinne-zaklady-jak-se-realizuji-piloty-vrtane-a-razene>

- [10] VDI 4640 – 1: 06-2010. Thermal use of the underground – Fundamentals, approvals, environmental aspects
- [11] Thermal Response Test. *Teplo ze země* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <http://www.teplozezeme.cz/nabidka-trt/>
- [12] Mrakodrap AZ Tower – špičková architektura a technologie. *Teplo ze země* [online]. 12.2.2013 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/mrakodrap-az-tower-spickova-architektura-a-technologie>
- [13] AZ TOWER. *Ice Energy* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.iceenergy.cz/reference/az-tower/>
- [14] Tepelná čerpadla s energetickými piloty. *GEROtop* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/energeticke-piloty-v-praxi>
- [15] První hala s téměř nulovou spotřebou energií byla postavena ve Finsku. *StavbaWEB* [online]. 21.10.2015 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: https://www.stavbaweb.cz/prvni-hala-s-tem-nulovou-spotebou-energii-byla-postavena-ve-finsku-13066/clanek.html?fbclid=IwAR24uHmTyUbFf4Ghsj5ahYps6vTUBmV0pFF1g_BnjF_nDAD78nYBKQBOV9I
- [16] Geothermal energy, a source of green energy under our buildings. *Encyclopedie of the Environnement* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/soil/geothermal-energy-source-green-energy-buildings/>
- [17] *DOCK E AT ZURICH-KLOTEN INTERNATIONAL AIRPORT (ZRH)* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.greenroofs.com/projects/dock-e-at-zrich-kloten-international-airport-zrh/>

- [18] Systémová technika Raueo pro využití zemního tepla [online]. Rehau, 2007 [cit.2021-12-09].Dostupné z:
<https://www.rehau.com/downloads/566024/technická-informace-rehau-raueo.pdf>
- [19] SEHNALOVÁ, Pavlína. Využití geotermální energie u inženýrských staveb. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT.
- [20] Teorie navrhování tepelných čerpadel země/voda – Projekční příručka 2018. Alpha innotec, 2018.
- [21] Instalace zemního kolektoru [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z:
<https://www.gerotop.cz/instalace-plosneho-kolektoru>
- [22] Milánská stěna. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-09]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Milánská_stěna
- [23] Podzemní stěny. Zakládání staveb [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://zakladani.cz/cs/vyrobni-program/technologie/podzemni-steny>