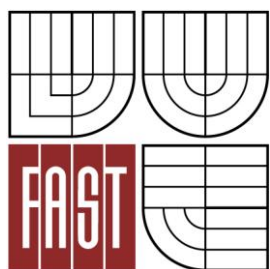




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

PILOTOVÉ ZÁKLADY - ENERGETICKÉ PILOTY

PILE FOUNDATIONS - ENERGY PILES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN HOZA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Martin Hoza
Název	Pilotové základy - energetické piloty
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Věra Glisníková, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání bakalářské práce	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

.....
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Podklady budou předány vedoucí diplomové práce samostatně.

Literatura:

Turček, P. a kol.: Zakládání staveb, Jaga, Bratislava, 2005

Masopust, J.: Vrtané piloty, Čeněk a Ježek, Praha, 1994

Masopust, J.: Speciální zakládání staveb - 1. díl, AN CERM, s.r.o., Brno, 2004

Masopust, J.: Speciální zakládání staveb - 2. díl, AN CERM, s.r.o., 2006

Reese, L.C. et al: Analysis and design of shallow and deep foundations, J. Wiley & sons, USA, 2006

Zásady pro vypracování

Zakládání staveb na pilotách představuje nejrozšířenější metodu hlubinného zakládání staveb. Úkolem řešitele této bakalářské práce je rozbor problematiky použití pilotových základů v ČR se zaměřením na energopiloty. Dalším úkolem je navrhnout pilotové založení pro zadaný konkrétní objekt.

Při vypracovávání bakalářské práce (BP) vycházejte ze zadaných podkladů, pokynů vedoucího BP a odborné literatury.

Při zpracování BP je nutno se držet následujících zásad:

1. Současný stav problematiky, rešerše odborné literatury
2. Rozbor geologických a hydrogeologických poměrů ve vztahu k zadanému objektu
3. Statický výpočet zvolené varianty
4. Technologický postup
5. Výkresová dokumentace - situace, příčný a podélný řez

Předepsané přílohy

.....

Ing. Věra Glisníková, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

V současnosti, kdy je stále více kladen důraz na ekologii, a do popředí se dostávají obnovitelné zdroje energie, se využívání geotermální energie jeví jako jedna z vhodných alternativ. Cílem práce je vysvětlit funkci tepelných čerpadel na principu země – voda, zmínit faktory ovlivňující účinnost systému a pojednat o technologii provádění energopilot. Dále se práce věnuje rizikům spojených s teplotním ovlivňováním základové půdy a ukázkám realizací.

Klíčová slova

hlubinné základy, pilotové základy, energopiloty, geotermální energie, ražené piloty, vrtané piloty, obnovitelné zdroje energie, nízkopotenciální teplo, primární okruh, tepelné čerpadlo země-voda, potrubí, chladivo, tepelná vodivost, výkon, příkon, topný faktor, přídatná napětí, teplotní zatížení, plášťové tření

Abstract

At a time when ecology and renewable energy sources come to the fore, the use of geothermal energy appears to be one of the suitable alternatives. The aim of this paper is to explain the function of ground source heat pumps, to mention factors affecting the efficiency of the system and discuss the technology of energy piles realization. This paper also focuses at risks associated with the soil temperature influencing and shows examples of realization.

Keywords

deep foundations, pile foundations, energy piles, geothermal energy, displacement piles, replacement piles, renewable energy resources, low-enthalpy heat, primary loop, ground source heat pump, pipeline, refrigerant, thermal conductivity, performance, energy input, coefficient of performance, additional stresses, thermal loading, shaft friction

Bibliografická citace VŠKP

Martin Hoza *Pilotové základy - energetické piloty*. Brno, 2014. 65 s., 14 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Věra Glisníková, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21.5.2014

.....
podpis autora
Martin Hoza

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mě podporovali při studiu a tvorbě bakalářské práce. Zejména děkuji rodině za psychickou podporu, Ing. Petru Lamparterovi za poskytnutí podkladů a Ing. Věře Glisníkové CSc. za vedení, konzultace a cenné rady při psaní práce.

Obsah

Abstrakt	1
Klíčová slova.....	1
Abstract	1
Keywords	1
Bibliografická citace VŠKP	2
Prohlášení.....	3
Poděkování	4
1. Úvod.....	8
2. Hlubinné základy.....	9
3. Piloty	9
3.1 Ražené piloty	12
3.1.1 Prefabrikované ražené piloty	12
3.1.2 Ražené, na místě betonované piloty	13
3. 2 Vrtané piloty.....	17
3.2.1 Technologie provádění vrtaných, na místě betonovaných pilot.....	20
3.2.1.1 Vrty pilot a vrtné nástroje.....	20
3.2.1.2 Pažení vrtů.....	21
3.2.1.3 Přípravné práce před betonáží, betonáž, práce dokončovací.....	24
3.2.2 Technologie provádění CFA pilot.....	27
4. Energetické piloty	29

4. 1 Úvod.....	29
4. 2 Podzemní energie a její využívání v základových konstrukcích.....	29
4.2.1 Primární okruh – energopilota.....	31
4.2.2 Tepelné čerpadlo země – voda	32
4.3 Montáž energopilot	33
4.4 Faktory ovlivňující návrh energetických základů	34
4.4.1 Geologie	34
4.4.2 Tepelné čerpadlo	35
4.4.3 Potrubí primárního okruhu	35
4.5 Rizika spojená s teplotními změnami v pilotách a podzákladí	37
4.6 Výhody a nevýhody energetických pilot.....	39
4.7 Příklady využití energetických stavebních konstrukcí	40
5. Návrh založení objektu	42
5.1 Geomorfologie	42
5.2 Geologická stavba širšího okolí	42
5.3 Hydrogeologie	43
5. 4 Průzkumná díla.....	43
5. 5 Výpočet únosnosti vybrané piloty – zatížení 590 kN.....	45
5. 6 Výpočet únosnosti vybrané piloty – zatížení 885 kN.....	53
5. 7 Posouzení vybraných pilot	57
6. Závěr.....	58

Seznam použitých zdrojů	59
Seznam použitých zkratk a symbolů	61
Seznam obrázků	63
Seznam tabulek	64
Seznam příloh.....	65

1. ÚVOD

Cílem práce je seznámení se s inovativní technologií hlubinného zakládání – energopilotami. Zjednodušené by se dalo říci, že energopiloty, nebo také termopiloty, jsou pilotové základy, jejichž armokoš je vystrojen potrubím pro jímání geotermální energie. Jelikož v dnešní době se stále více snažíme o využívání obnovitelných zdrojů a v neposlední řadě je také kladen důraz na ekologii, jeví se energopiloty jako zajímavé aktuální téma. Energie Země je nevyčerpatelná a ve vhodných geotechnických podmínkách mohou energopiloty značně snížit či dokonce úplně eliminovat náklady spojené s vytápěním a klimatizováním budov. Je pouze na investorech, zda chtějí za každou cenu ušetřit při realizaci základů. Pokud však budou ochotni přistoupit na vyšší prvotní náklady, je velmi pravděpodobné, že se vynaložené peníze brzy vrátí a to i s bohatými úroky.

Práce se nejprve věnuje hlubinnému zakládání obecně a následně se zaměřuje na základy pilotové, což by mělo vést k lepšímu pochopení později popisované problematiky energetických pilot. Vedle technologie provádění, která je pro jejich správnou a efektivní funkci zcela zásadní, bude osvětlen i samotný princip fungování. Také budou uvedeny příklady realizací a další možnosti využívání geotermální energie ve stavebních konstrukcích.

2. HLUBINNÉ ZÁKLADY

Hlubinné základy se navrhují v případech, kdy není v běžném dosahu plošných základů dostatečně únosná a málo stlačitelná základová půda a je-li nutné zakládat pod hladinou podzemní vody. Také se s výhodou využívají tam, kde by bylo plošné zakládání příliš drahé, díky velké spotřebě materiálu, zejména betonu. Úkolem hlubinných základů je přenést zatížení do únosnějších, hlouběji uložených vrstev základové půdy a omezit sedání stavby. Samotná volba metody hlubinného zakládání je ovlivněna přírodními a také ekonomickými faktory. Mezi prvky hlubinného zakládání řadíme: studně, kesony, piloty, mikropiloty, podzemní stěny a další speciální technologie, např. kotvy, klasickou či tryskovou injektáž a další.

Způsoby hlubinného zakládání staveb procházejí v posledních desetiletích bouřlivým vývojem, který je podmíněn na jedné straně vlastním stavebním výzkumem, aplikací novinek ze strojírenství a chemie na stavebnictví, na druhé straně pak společenským požadavkem na zastavování pozemků se složitými geotechnickými poměry, kde vlastní bezpečné, ekonomické a rychlé založení stavby představuje mnohdy klíčový problém celého díla. [1]

3. PILOTY

Pilotové základy postupem času úplně nahradily studně a kesony a staly se tak nejrozšířenějšími a nejvíce používanými prvky hlubinného zakládání staveb. Zpravidla mají tvar sloupů, jejichž průřez může být kruhový (vrtané piloty) či jakkoli hranatý a členitý (ražené piloty), může být po délce konstantní nebo proměnný. Jak již bylo zmíněno výše, jejich hlavním úkolem je přenášet zatížení ze stavebních konstrukcí do hlubších únosnějších vrstev a tím omezit velikost sedání a je také vhodné jejich použití při zakládání pod hladinou podzemní vody (dále jen HPV). V současnosti je známo kolem 100 druhů pilot, které lze dělit dle velkého množství kritérií, z nichž se nejčastěji používají k přesnější klasifikaci tyto:

Evropská klasifikace využívá jako kritérium k základnímu rozdělení pilot jejich výrobní postup, čímž dostáváme dvě velké skupiny:

1) *piloty typu displacement*, kdy zemina není z prostoru budoucí piloty odtěžena, ale je stlačena do stran a pod patu piloty,

2) *piloty typu replacement*, kdy se zemina z prostoru budoucí piloty odstraní.

Evropská klasifikace pilot:

1) Ražené piloty (Displacement)

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| - prefabrikované | - betonové | |
| | - ocelové | |
| | - dřevěné | |
| - na místě betonované | - dočasně pažené | - betonové |
| | - trvale pažené | - betonová roura |
| | | - ocelová roura |

2) Vrtané piloty (Replacement)

Další klasifikace pilot používané v ČR:

a) podle příčného rozměru:

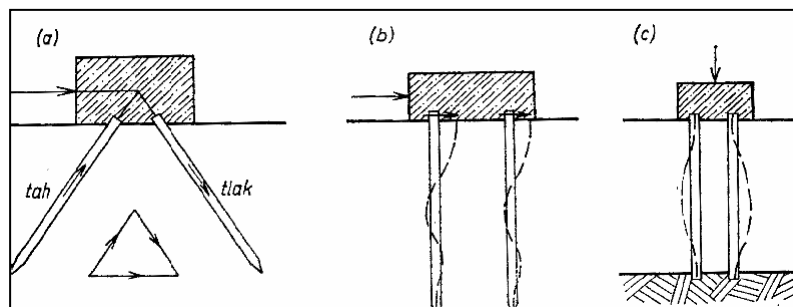
- maloprofilové (příčný rozměr od 0,3 m, resp. 0,15 m **do 0,6 m**)
- velkoprofilové (příčný rozměr **přes 0,6 m** do cca 3,0 m)

b) podle sklonu:

- svislé
- šikmé

c) podle způsobu namáhání:

- tlačené
- tažené
- příčně zatížené (obvykle kombinace s tlakem či tahem)



Obr. 3-1: Způsoby namáhání pilot: a) tlak, tah b) ohyb c) vzpěr

d) podle materiálu:

- betonové (železobetonové, z předpjatého betonu)
- ocelové
- dřevěné [2]

3.1 RAŽENÉ PILOTY

Jak vyplývá z evropské klasifikace pilot, jedná se o piloty typu displacement. To znamená, že zemina není vytěžena z prostoru či vrtu, který pilota zaujímá, s výjimkou omezeného zvednutí terénu, vibrací a dalších pohybů zeminy, které jsou spojené s pomocnými pracemi, nutnými k instalaci ražené piloty. Pro jejich navrhování se užívá norma *ČSN EN 12699:2001 Provádění speciálních geotechnických prací – Ražené piloty*. Mohou být ocelové, litinové, betonové (železobeton, předpjatý beton), dřevěné či tvořené maltou ve formě injekční směsi a také jako kombinace těchto materiálů. Za ražené piloty se považují prvky s průměrem 150 mm a větším. Evropská klasifikace zavádí 2 základní skupiny ražených pilot – prefabrikované a na místě betonované.

3.1.1 Prefabrikované ražené piloty

Prefabrikované ražené piloty se instalují nejčastěji beraněním či vibrováním, zřídka pak šroubováním či zatlačováním, a je nutno říci, že na našem území byly prováděny především v minulosti a v současnosti se prakticky nepoužívají. Důvodem jsou zejména geotechnické poměry, proto jsou dominantní např. v severním Německu, Holandsku, Belgii, Dánsku a severských zemích. Ke zvýšení únosnosti se prefabrikované ražené piloty v některých zeminách injektují injekční směsí na bázi cementové suspenze. V důsledku zarážení mají železobetonové prefabrikované piloty po instalaci poškozené hlavy, které je nutno šetrně odbourat až na úroveň zdravého betonu. Při návrhu je nutno zohlednit množství faktorů (metoda instalace, průřezy a délky prefabrikátů, aj.), aby bylo možné stanovit kritéria pro ražení, viz níže.

- Pro beraněné piloty:
- energie při beranění (např. tíha beranu a výška jeho pádu),
 - vnikání piloty do základové půdy (energie spotřebovaná na určitou délku vniku piloty),
 - rychlost vnikání do základové půdy.

Pro vibrované piloty: - energie vibrování (tlak oleje pro pohon vibrátoru),

- frekvence vibrování,

- vnik piloty závisující na energii a frekvenci vibrování.

Pro piloty šroubované (zatlačované): - krouticí moment (tlaková síla) působící na pilotu ve vztahu k rychlosti vniku do základové půdy.

3.1.2 Ražené, na místě betonované piloty

Instalují se do základové půdy tím způsobem, že se nejprve beraněním, vibrováním či šroubováním provede otvor, nejčastěji kruhový, který se zaarmuje a zabetonuje. Vlastní razicí se roura se v zemi buď ponechá (piloty trvale pažené) nebo se vytáhne (dočasně pažené). V našich geotechnických podmínkách se rozšířily pouze 2 druhy dočasně pažených pilot:

- vibrované (beraněné) prováděné se ztracenou botkou (VUIS, Fundex),

- piloty předražné, na místě betonované (Franki).

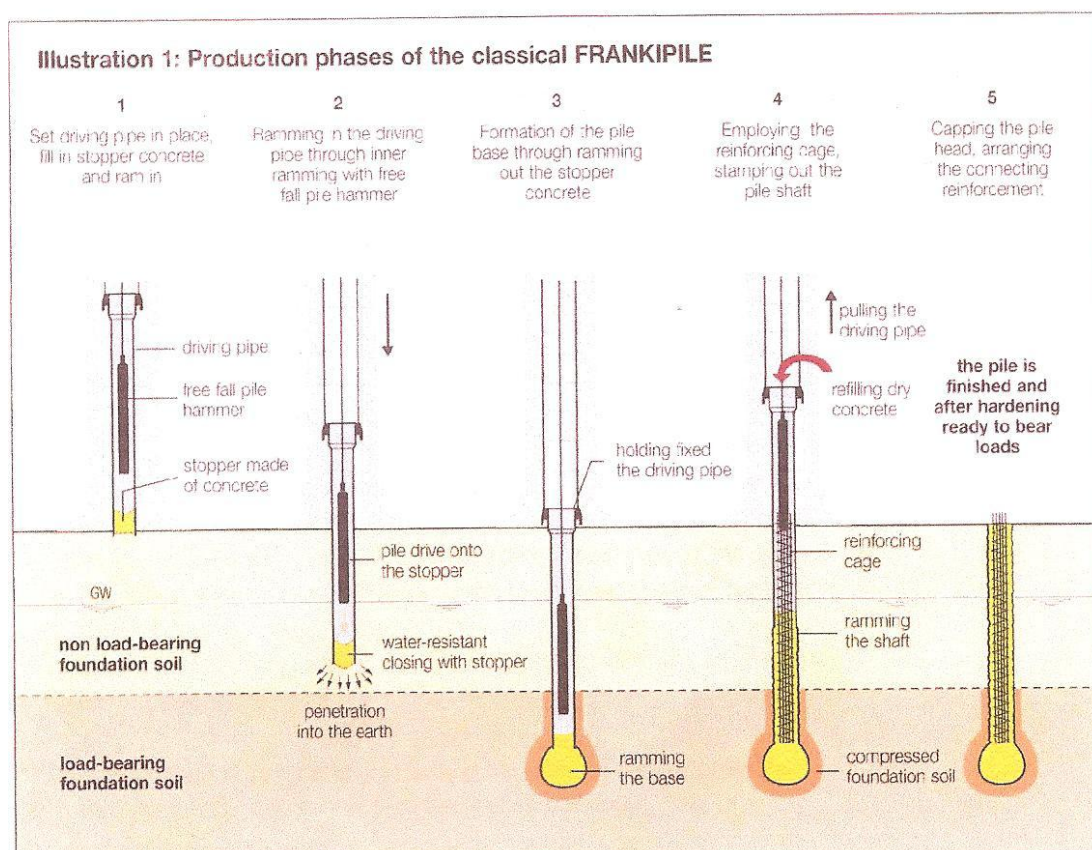
Piloty VUIS

Vyvinuty na Slovensku, dnes se nepoužívají díky malým únosnostem vyplývajícím z jejich profilů a délek a také kvůli omezení z titulu vhodných geotechnických podmínek – byly realizovatelné pouze v tuhých soudržných zeminách nebo pískách a drobných štěrcích bez kamenů a balvanů. Systém se skládal z betonové kuželové botky, na kterou se nasazovala ocelová pažnice profilu 380 mm, která byla nahoře opatřena vzdušníkem a vibrátorem. Nejprve se vrt zavibroval do potřebné hloubky, následně se vložil armokoš a vrt se pomocí vzdušníku vybetonoval. Poté byla pažnice jeřábem vytažena. Ke zvýšení únosnosti se také projektovaly jako piloty skupinové, spojené typovými kruhovými hlavicemi VUIS.

Piloty Franki

Tento typ ražených pilot byl vyvinut Belgií ve 30. letech minulého století. U nás se poměrně rozšířil a v současnosti se 10- 15% všech pilotových základů na našem území provádí touto technologií, nicméně jejich značná část připadá na prvky šterkové, které se řadí spíše do oblasti zlepšování zemin základové půdy. Použití předrážených, na místě betonovaných pilot je vhodné především v prostředí málo únosných naplavenin, sprašových i jílovitých hlín, objemově nestálých zemin, neulehlých násypů a nezastupitelnou roli má při zakládání v poddolovaném území, v místech zvýšené seizmicity a v místech s agresivní podzemní vodou. V těchto prostředích vykazují piloty Franki v porovnání s ostatními technologiemi výrazně vyšší únosnost při stejném profilu pilot, což znamená ekonomicky výhodnější založení stavby. Obecně lze tvrdit, že cena 1 kN zatížení stavbou přeneseného do podloží je asi poloviční oproti pilotám vrtaným.

Technologický postup výroby je patrný z obrázku 3-2. Silnostěnná razicí roura (výpažnice) se vztyčí do provozní polohy, lze razit svisle nebo šikmo ve sklonu do 8:1. Do razicí roury se skipem nasype cca 0,15 m³ suchého betonu ($v/c \leq 0,3$), který vytvoří zátku, jež se hutní volným pádem beranu tvaru ocelového válce. Beran o hmotnosti 1,25 – 5,5 t padá opakovaně z výšky 2 – 4 m. Při samotném beranění je přenos beranící síly z části zprostředkován třením mezi betonovou zátkou a vnitřní stěnou roury. Sleduje se vnik roury do základové půdy ve vztahu k počtu úderů, nebo lépe se měří velikost mechanické energie ve vztahu k vniku roury. Významné jsou především hodnoty naměřené při beranění posledního 1,0 nebo i 2,0 m. Na základě těchto velikostí a s přihlédnutím k druhu základové půdy se usuzuje na únosnost předrážené piloty. Po dosažení únosné zeminy nebo při splnění energetického kritéria se razicí roura vyvěsí a přidá se 0,5 – 1,5 m³ betonu a přejde se k vyražení zátky. Ta se však nesmí z roury vyrazit úplně, aby nedošlo k porušení piloty. V této fázi se formuje typická „cibule“ pod patou piloty, která má zásadní vliv na její únosnost. Poté se do roury vloží armokoš a přisypává se další beton, který se hutní beranem při současném povytahování razicí roury. Armokoš je složen z podélné výztuže minimálního průměru 14 mm, distančních kruhů a spirály.



Obr. 3-2: Postup výroby piloty Franki

Hotová pilota se vyznačuje:

- typickou cibulovitou patou (1,5 – 1,8 x širší než dřík),
- drsným dříkem, který má až o 80% větší plášťové tření než vrtané piloty obdobného průměru,
- mimořádně kvalitním betonem (díky nízkému vodnímu součiniteli – v/c , a způsobu hutnění dosahuje běžně 150% krychelné pevnosti dané třídy betonu),
- mimořádně odolným betonem (nepropustný, odolný agresivnímu prostředí),
- mimořádně vysokou únosností v příznivých podmínkách.

Nevýhody předrážených pilot:

- při beranění vznikají velké dynamické rázy, a proto je jejich provádění v intravilánech problematické a v hustě zastavěných oblastech prakticky nemožné,
- omezené průměry a délky,
- vhodné pouze pro určité typy zemin a to zejména pro nesoudržné zeminy bez balvanů a bez horninové vložky, kterou nelze prorazit; při beranění v soudržných zeminách vznikají velké pórové tlaky, které časem díky konsolidaci zeminy vymizí a pilota tak ztrácí únosnost, což se projeví následným sedáním, proto jsou piloty Franki v soudržných zeminách méně vhodné až nevhodné, stejně tak se nepoužívají v poloskalním podloží,
- v suchých soudržných zeminách (např. sprašové hlíny) hrozí nebezpečí „spálení“ betonu a jeho následný rozpad, jelikož zemina z již suchého betonu odsaje další vodu,
- jsou vhodné zejména pro přenášení osových zatížení; díky omezeným průměrům jsou méně vhodné pro přenášení příčných sil; kvůli tvaru díku je nelze použít ani pro pilotové stěny. [3]



Obr. 3-3: Ukázka rozšířených pat pilot Franki

3. 2 VRTANÉ PILOTY

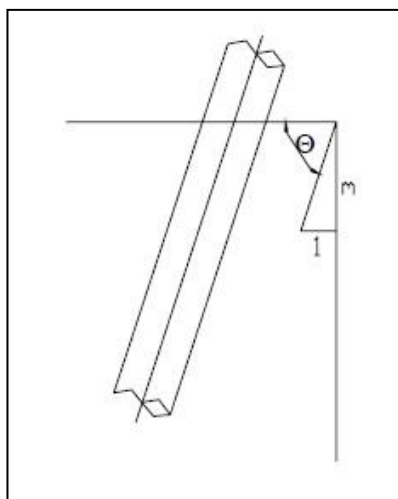
Jedná se o prvky, které jsou prováděny vrtáním a následným odtěžením vyvrtaného materiálu – typ replacement. Zatížení přenášejí nosným dříkem a ten zároveň omezuje deformaci. Vratné piloty jsou běžně kruhového průřezu, ale mohou být také tvořeny lamelami podzemních stěn, je-li celý jejich průřez betonován najednou. Průřez může být po délce konstantní či teleskopický nebo mohou mít piloty rozšířenou patu či dřík. Provádění, monitoring, dohled nad prováděním a kontrola provádění vrtaných pilot se řídí ČSN EN 1536: *Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty* /1999/.

V současnosti činí podíl vrtaných pilot na českém trhu asi 90% všech pilotových základů, jedná se zejména o piloty velkopřůměrové a stále populárnější piloty typu CFA. Převaha je dána zejména rozmanitými geotechnickými podmínkami a skutečností, že v poměrně malé hloubce se na staveništích nachází skalní (polosklaní) podloží, do kterého je výhodné vrtané piloty vetknout. Piloty mohou být navrhovány jako osamělé, skupinové nebo jako pilotové stěny (pažící a opěrné konstrukce). Za vrtané piloty se považují prvky následujících parametrů:

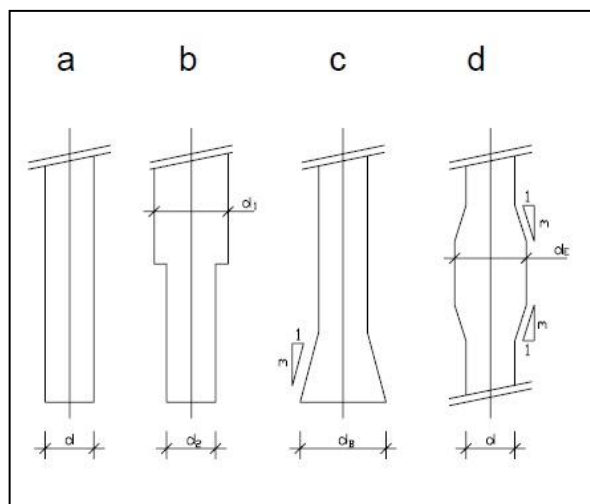
- průměr dříku: $0,3 \leq d \leq 3,0$ m,
- nejmenší rozměr lamely na místě betonované podzemní stěny: $w_i \geq 0,4$ m,
- $b_i/w_i \leq 6$; b_i – největší, w_i – nejmenší z průřezových rozměrů lamely,
- sklon dle obrázku 3-4, obecně $m \geq 4$, při ponechání pažnice $m \geq 3$
- plocha př. řezu rozšířené paty piloty či lamely podzemní stěny: $A \leq 10$ m².

Pro piloty s rozšířenou patou či dříkem dále platí:

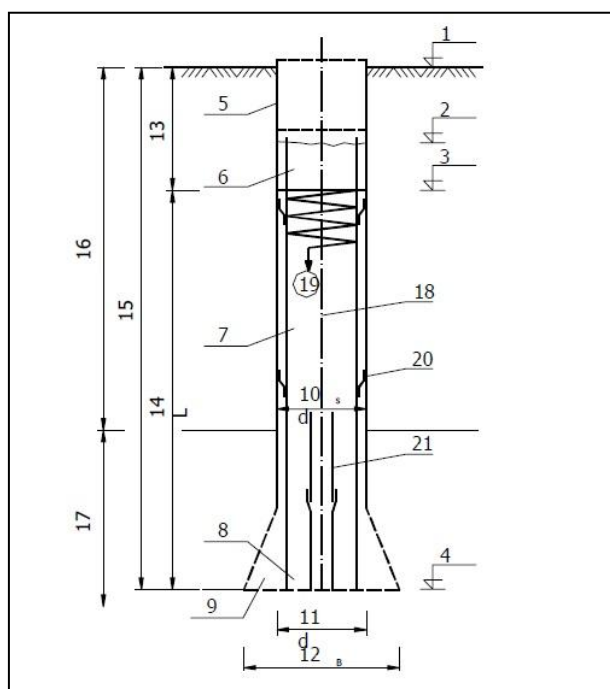
- rozšíření paty: v nesoudržných zeminách $d_B/d \leq 2$, v soudržných $d_B/d \leq 3$,
- rozšíření dříku: pro všechny typy zemin $d_E/d \leq 2$, (d_B , d_E viz obrázek 3-5)
- sklon rozšiřované části: v zeminách nesoudržných $m \geq 3$, v soudržných $m \geq 1,5$.



Obr. 3-4: Sklon pilot



Obr. 3-5: Tvary dříků vrtaných pilot



Obr. 3-6: Označení a názvosloví

1-pracovní plošina, 2-úroveň betonáže, 3-úroveň odbourání, 4-počva vrtu, 5-úvodní pažnice, 6-hlava piloty, 7-dřík piloty, 8-pata piloty, 9-rozšíření paty piloty, 10-průměr dříku piloty d_s , 11-průměr piloty d , 12-průměr paty piloty d_B , 13-hluché vrtání, 14-délka piloty, 15-hloubka vrtu, 16-neúnosná zemina, 17-únosná zemina, 18-osa piloty, 19-výztužný armokoš, 20-distanční prvek, 21-betonážní nebo sypáková roura

Jelikož vrtané piloty přenášejí svislá tlaková zatížení jednak svou patou a jednak pláštěm piloty (pomocí plášťového tření), je možné je ze statického hlediska dělit dle podílu těchto komponentů na celkové únosnosti takto:

a) *Piloty opřené patou o velmi únosnou horninu*, kdy lze většinou plně využít únosnost betonového (ŽB) dříku piloty, je-li pata piloty spolehlivě uložena v celé ploše na skálu, jejíž povrch je dostatečně čistý. Výpočet dle metod 1. geotechnické kategorie.

b) *Plovoucí piloty*, které přenášejí zatížení především plášťovým třením. Používají se, je-li základová půda málo únosná a únosnější podloží není vrtáním dosažitelné nebo není z hlediska únosnosti hospodárné vrtat hlouběji. Výpočet dle metod 2. geotechnické kategorie.

c) *Piloty vetknuté*, u kterých je k přenosu zatížení využito jak plášť, tak pata. Typické je jejich použití ve vrstevnatých zeminách, kde je nadloží málo únosných vrstev tvořeno neúnosnou zeminou nebo kde pata piloty spočívá na zemině únosnější, než v okolí dříku. Výpočet dle zásad 2. geotechnické kategorie.

d) *Piloty s rozšířenou patou*, kterých se k zakládání využívá, nelze-li vrtanou soupravou dosáhnout do vrstvy o únosnosti odpovídající zhruba únosnosti dříku piloty daného průměru. Také se používají, pokud je nutné zachovat dostatečně mocnou vrstvu zeminy zabraňující prolomení dna vztlakem podzemní vody. Dno musí být perfektně vyčištěné – nutno provést ručně v zapaženém vrtu. [2]

3.2.1 Technologie provádění vrtaných, na místě betonovaných pilot

3.2.1.1 Vrty pilot a vrtné nástroje

Vrty pro piloty se provádějí technologií rotačně náběrového vrtání, drapákovým hloubením či pomocí průběžného vrtání nekonečným šnekem. Nejčastější profily vrtů u nás jsou 630, 750, 880, 1020 či např. 1220. Volba technologie respektive samotného vrtného nástroje má zásadní vliv na rychlost a kvalitu provedení vrtu a závisí na prostředí, ve kterém bude vrt prováděn. Během vrtání je možno nástroje měnit.

a) *Vrtný hrnec (šapa)*: „Hrnec“ je opatřen výměnnými noži z tvrdého kovu a vyklápěcím dnem, tudíž je možné vyvrtaný materiál sypat přímo na přistavená nákladní auta. Použití v písčitých a štěrkovitých zeminách, suchých i zvodnělých, také v poloskalních horninách (jílovce, slínovce, břidlice, pískovce malé pevnosti). Ve zvodněných píscích se používají tzv. pískové šapy, které po navrtání zeminy zpětnou rotací umožňují úplné uzavření dna.

b) *Spirálový (talířový) vrták*: Vhodné v soudržných zeminách, zejména jílech. Nevýhodou možnost porušení stěn vrtu a zemina napadaná na jeho dně.

c) *Vrtací korunka*: K provrtání vložek skalních hornin. Jedná se o válcový plášť, který má na čele osazeny břity z tvrdého kovu či speciální nože.

d) *Jednolanový drapák*: Ideální v nesoudržných balvanitých zeminách. Vrt vždy pažen.

e) *Vrtná fréza, vrtné dláto*: K rozbíjení překážek.

Před zahájením vrtání je nutno, aby geodet vytyčil polohu osy vrtané piloty nejčastěji pomocí ocelového kolíku. Vytyčení je třeba průběžně kontrolovat, protože v průběhu vrtání dalších pilot může dojít k posunu terénu a změně polohy vytyčeného vrtu. V průběhu vrtání je potřeba, aby obsluha vrtné soupravy kontrolovala polohu vrtu i jeho svislost. Většina souprav vyžaduje prakticky vodorovnou pracovní plošinu, kterou je nutno před zahájením vrtání zpevnit. Zpevnění se provádí silničními panely nebo postačí 0,2 m zaválcované vrstvy

drceného kameniva, pohybuje-li se souprava na dostatečně únosném podkladu. Rozsah zpevnění je dán především použitým typem vrtné soupravy. Při práci ve stavební jámě je zpevnění a odvodnění pracovní plošiny nutno přikládat zvlášť velkou pozornost.

3.2.1.2 Pažení vrtů

Vrty lze provádět jako nepažené, pažené ocelovými pažnicemi nebo pažené pomocí pažící suspenze, nejčastěji jílové.

Nepažené vrty:

Pokud je jisté, že při instalaci piloty zůstanou stěny vrtu stabilní, smějí se vrty provést bez pažení. Je ovšem zapotřebí kontrolovat, zdali do vrtu nevniká nekontrolovaně voda nebo se neporušují jeho stěny, v takovém případě je nutno vrt ihned zapažit. Šikmé vrty se sklonem $m \leq 15$ se musí pažit v celé délce, jestliže nelze jejich stabilitu bezpečně prokázat. Vrty o průměru větším než 1,0 m by měly být vždy pažené tzv. úvodní pažnicí délky 1,5 – 2,5 m, která zajistí vedení vrtného nástroje při opakovaném těžení a zavrtávání a zamezí tvorbě kaveren u hlavy piloty. Přesah úvodní pažnice nad pracovní plošinu je běžně 0,2 – 0,3 m. Nesoudržné zeminy s $I_D < 0,5$, soudržné s $I_C < 0,5$, vrstvy navážek a nedokonale hutněných zásypů je nutno pažit vždy.

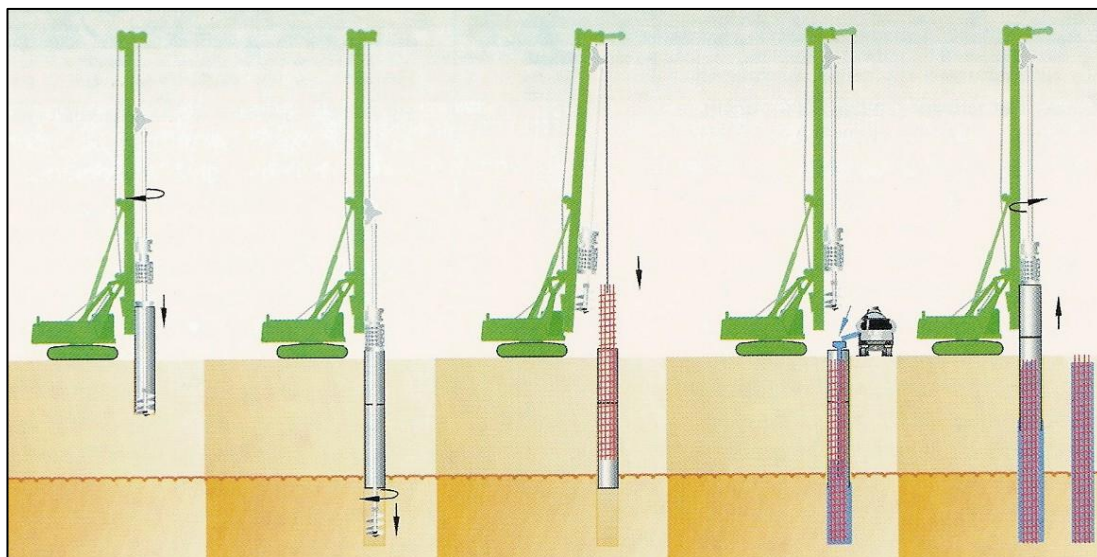
Pažení pomocí ocelových pažnic:

Jedná se o základní a také nejpoužívanější metodu pažení vrtů s $d \leq 1,5$ m. Tento způsob pažení je preferovaný s ohledem na ochranu životního prostředí na všech staveništích, zejména pak ve městech a při zakládání mostů přes řeky. Potřebné je výkonné dopažovací zařízení, kterým se vybaví vrtná souprava s dostatečným krouticím momentem k zatačení a vytahování pažnic. Je možné též pažení pomocí šapy s vysunutými ocelovými nosníky (bolzny) či pomocí kříže. Pažení probíhá souběžně s hloubením vrtu. Používají se tzv. černé (varné) ocelové roury s tloušťkou stěny 8 - 12 mm nebo speciální ocelové pažnice, vesměs dvouplášťové, spojovatelné, s tloušťkou stěny 40 mm a délky nejčastěji 1,50 m. Pažení pomocí varných rour je rychlé a výhodné, je-li třeba propažit pouze vrchní

část vrtu a zbytek vrtu lze dovrtnat v soudržné zemině bez pažení. K propažování hlubších částí vrtů se používá další pažnicová kolona, jejíž průměr je o stupeň menší. V praxi se paží maximálně na 2 pažnicové kolony s možností dovrtnání v soudržné zemině. Pažnice musí být kruhové, nedeformovatelné, bez výstupků a dostatečně dimenzované i co se spojují tyče.

Tab. 3-1: Nejčastěji používané průměry varných a spojovatelných pažnic spolu s příslušnými průměry vrtného nářadí

Průměr varné pažnice	630	720	820	920	1020	1220	1420	-	1620	(1820)	(2020)
Průměr spoj. pažnice	630	750	880	-	(1020) 1080	(1180) 1200 1220	-	1500	-	-	-
Průměr vrtného nářadí	570	630	770	870	920	1070	1220	1350	1500	1700	1900



Obr. 3-7: Výroba pilot pažených ocelovými pažnicemi pomocí vrtné hlavy

1-zahájení vrtání, vkládání pažnice; 2-dovrtání nezapažené části vrtu;
3-vkládání armokoše; 4-betonáž piloty; 5-odpažení vrtu

Pažení jílovou suspenzí:

Pažící účinek jílové suspenze je zajištěn kombinací hydrostatického tlaku a elektrochemických účinků. Jílová suspenze je tzv. plastická kapalina, která v klidovém stavu přechází z tekutiny na gel, který má vyšší stříhovou pevnost, a pro zpětný přechod na tekutinu (sol) stačí gel rozmíchat. Tyto stavy lze pořád opakovat – suspenze má tixotropní vlastnosti a je možné ji opakovaně využívat.

Tab. 3-2: *Receptura na výrobu 1m³ jílové pažící suspenze*

Pořadí dávkování	Množství	Doba míchání
1. Voda	975 l	-
2. Soda (dávkování dle pH vody)	pH 6,5 – 5,5: 1,3 – 2,0 kg pH 5,5 – 4,5: 2,0 – 2,5 kg pH pod 4,5: nutno vyměnit vodu	5 minut
3. KMC Lovosa	1 kg	5minut
4. Sabenil	64 kg	15 minut

Suspenze se vyrábí z jílu (obchodní název Sabenil), jehož nejdůležitější součástí je minerál montmorillonit, dále z vody a případně dalších přísad, pokud jsou potřebné. Suspenze se míchá v rozplavovači o objemu 4 – 7 m³. Vyrobená suspenze zraje až 12 hodin. Po použití a následném vyčištění suspenze zejména od částic písku ji lze opětovně použít. Při styku s cementem, vápnem či chemickými roztoky je však suspenze definitivně znehodnocena.

Správně namíchaná suspenze se k vrtům přivádí potrubím a v průběhu vrtání se její hladina musí neustále udržovat v úvodní pažnici a zároveň minimálně 1,5 m nad úrovní HPV. Vyvrtaná zemina znečištěná suspenzí se po vyschnutí a odtečení suspenze odveze na skládku. Z ekologických důvodů se od pažení pod jílovou suspenzí v současnosti ustupuje.

3.2.1.3 Přípravné práce před betonáží, betonáž, práce dokončovací

Mezi přípravné práce patří čištění vrtu, kontrola jeho délky, čerpání podzemní vody, je-li účelné a neohrozí-li stabilitu vrtu, dále armování železobetonových pilot.

Zásadní je zkrátit prodlevu mezi dovtáním a betonáží na minimum z důvodu možného zhoršení vlastností zemin v okolí vrtu. Dno se vyčistí tzv. čistící šapou s rovným dnem. Pokud nelze vrty zabetonovat v jedné směně, je potřeba vrty pročistit těsně před betonáží a to tak, že se pilota prohloubí o 1,5 m nebo dva průměry. Při pažení pod jílovou suspenzí se musí nejdříve hodinu před vložením armokoše vyčistit dno vrtu, opatrně odstranit filtrační koláč a následně zkontrolovat písčitost suspenze (max 4%).

Piloty vrtané, na místě betonované se mohou dělat nevyztužené, s kotevní výztuží či s výztuží speciální (válcované profily), v praxi však převládají piloty železobetonové, vystrojené armokoši v celé délce nebo jen v části piloty. Piloty z prostého betonu, tedy nevyztužené, se navrhují pouze tehdy, nachází-li se pilota v stabilních zeminách a je zatížena pouze osovým tlakem. V ostatních případech se piloty navrhují železobetonové, jejichž výztužný armokoš se skládá z výztuže podélné, výztuže příčné a výztuže pomocné.

Tab. 3-3: Minimální vyztužení železobetonových vrtaných pilot

Jmenovitá průřezová plocha dříku piloty „Ac“	Plocha podélné výztuže „As“
$Ac \leq 0,5 \text{ m}^2$	$As \geq 0,5\% Ac$
$0,5 \text{ m}^2 < Ac \leq 1,0 \text{ m}^2$	$As \geq 0,0025 \text{ m}^2$
$Ac > 1,0 \text{ m}^2$	$As \geq 0,25\% Ac$

Armokoš musí být dostatečně tuhý a pokud možno zapouštěn do vrtu vcelku. U pilot s délkou větší než 20 m je možné výztuž spojovat v průběhu zapouštění, přičemž se preferuje použití rychlospojek. Minimální krytí výztuže je 50 mm pro piloty s profilem $d \leq 0,6 \text{ m}$; při vyšších průměrech je krytí 60 mm. Pro piloty pažené spojovatelnými pažnicemi se hodnota krytí zvětšuje o tloušťku stěny pažnice, běžně tedy o 40 mm.

Následuje betonáž vrtané piloty, přičemž použitý transportbeton musí mít vysokou plasticitu, správné složení a konzistenci, schopnost samozhutnění, vysokou odolnost proti rozměšování a vhodnou zpracovatelnost jak pro jeho ukládání, tak pro vytahování pažnic z čerstvého betonu. Třída betonu by měla být v rozmezí C16/20 – C30/37. K dosažení potřebných vlastností betonu lze použít různé přísady, např. plastifikátory, superplastifikátory, zpomalovače tuhnutí, je však nutno dbát na správné dávkování. Betonuje-li se v teplotách pod 5°C, lze použít provzdušňovací přísady.

Obecně pro složení čerstvého betonu platí níže zmíněné. Množství cementu by mělo být při betonáži do sucha větší než 325 kg/m³, při betonáži pod vodou a pod suspenzí větší než 375 kg/m³. Vodní součinitel (v/c) by měl být méně než 0,6. Podíl jemné frakce (d < 0,125 mm) včetně cementu by měl být nejméně 400 kg/m³, pokud má největší zrno kameniva d > 8 mm; má-li největší zrno d ≤ 8 mm, měla by podíl jemné frakce být nejméně 450 kg/m³. [2]

Tab. 3-4: Požadavky na zpracovatelnost beton při různých podmínkách betonáže

Stupeň rozlití [mm]	Stupeň sednutí kužele (dle Abramse) [mm]	Typické příklady použití
$460 \leq \phi \leq 530$	$130 \leq H \leq 180$	Betonáž za sucha
$530 \leq \phi \leq 600$	$H \geq 160$	Betonáž betonovým čerpadlem
		Betonáž sypákovou rourou pod HPV
$570 \leq \phi \leq 630$	$H \geq 180$	Betonáž sypákovou rourou při pažení jílovou pažící suspenzí

Jak vyplývá z výše zmíněné tabulky, vrtané piloty lze betonovat do sucha nebo pod vodou (či pažící suspenzí). Při betonáži do sucha (vrt je dokonale suchý) se používá betonážní roura s násypkou, která je umístěna ve středu vrtu tak, aby proud betonu nenarážel do výztuže piloty ani do stěny vrtu. Vnitřní průměr (usměrňovací) roury je minimálně 200 mm, vždy však musí být vyšší než osminásobek největšího zrna kameniva v betonu.

Betonuje-li se pod vodou (či pažící suspenzí), používá se k ukládání betonu sypáková roura, která brání promíchávání a rozměšování betonu. Její světlost je min. 150 mm respektive min. šestinásobek největší frakce použitého kameniva.

Její jednotlivé segmenty délky 1,5 – 2,0 m jsou opatřeny vodotěsnými spoji. Průměr sypákové roury musí být takový, aby byl zajištěn její volný pohyb uvnitř armokoše nebo vrtu. Sypáková roura se před začátkem betonáže opatří zátkou a spustí se na dno vrtu. Zcela se naplní betonem a povytáhne se o výšku jednoho průměru roury. Dále se sypáková roura pozvolně vytahuje, vždy však musí zůstat ponořena nejméně 1,5 m (piloty s $d < 1,2\text{ m}$), respektive 2,5 m ($d \geq 1,2\text{ m}$) v betonu. S postupující betonáží se sypáková roura zkracuje zásadně shora a zároveň je z vrtu odčerpávána voda případně pažící suspenze.

Paží-li se vrt ocelovými pažnicemi, musí se jejich vytahování zahájit hned po betonáži nebo už v jejím průběhu. Při pozvolném vytahování pažnice je nutné sledovat hladinu betonu a zabránit jejímu případnému náhlému poklesu, pokud beton začne vyplňovat kaverny za pažnicemi. Hlava piloty se vždy přebetonuje, aby po odpažení nedošlo k jejímu poklesu pod projektovanou úroveň.

Po zabetonování a odpažení vrtu se obvykle zřizují další piloty na stavbě, tudíž následuje prodleva. Dále následují dokončovací práce, ke kterým patří úprava hlavy piloty (ohleduplným odbouráním) a armokoše, případně se provádí nadpilotová konstrukce. Poškozený beton z hlavy piloty musí být šetrně odbourán a nahrazen dobetonávkou, která musí být se stávajícím betonem dokonale spojena. [1]



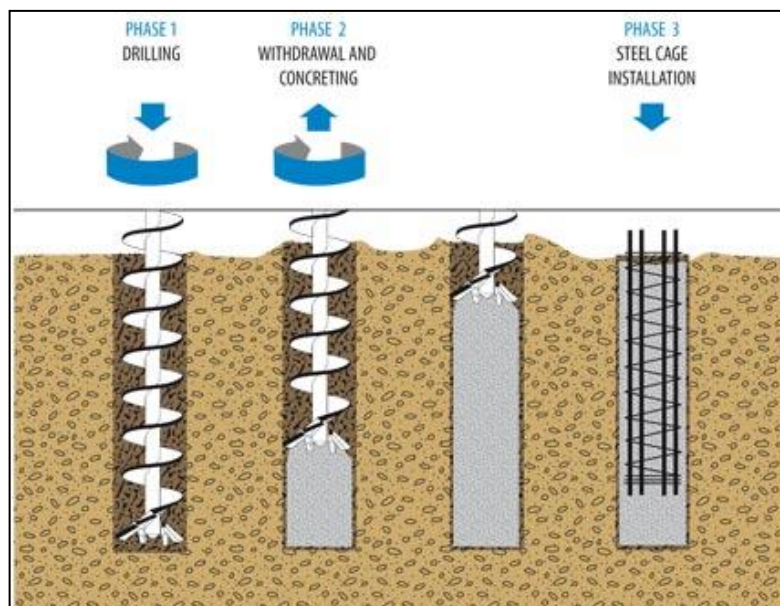
Obr. 3-8: Pole vrtaných pilot – zakládání opěry mostu

3.2.2 Technologie provádění CFA pilot

Jedná se o pilotové základy prováděné tzv. průběžným šnekem. Tato metoda je relativně nová a ve vhodných podmínkách zvyšuje výrazně produktivitu práce při zakládání na vrtaných pilotách. Stabilita vrtu je totiž zajištěna zeminou, která ulpívá na závitech šneku. Závity vrtného šneku jsou přivařeny na středovou dutou rouru opatřenou na spodu zátkou, která brání vniku vody a nečistot. Vhodnými zeminami jsou zeminy nesoudržné ($I_D > 0,4$; $d_{60}/d_{10} > 2$) suché i zvodnělé a také zeminy soudržné (kromě měkkých s $c_u < 15$ kPa, kromě spraší, senzitivních jílu), nesmí však obsahovat velké balvany nebo nevrtatelné tvrdé vložky. Možné průměry CFA pilot jsou od 300 do 1400 mm a délka maximálně 30 m.

Vrtný šnek se nejprve zavrtá do projektované hloubky, přičemž nedochází k nakupení zeminy kolem ohlubně vrtu. Dále se pokračuje betonáží pomocí středové roury, která je již při zavrtávání napojená hadicí na betonážní čerpadlo. Při betonáži se vyrazí zátky a šnek opatrně povytahuje, přičemž se nesmí otáčet, je – li to však nutné, může se otáčet ve stejném smyslu jako při vrtání. Díky přetlaku betonu u paty je zajištěno okamžité zaplnění vzniklého prostoru. Důležité je zajistit dostatečné množství betonu, aby mohl být dřív piloty vybetonován plynule od paty až k hlavě, která se navíc přebetonuje i do vrstvy zeminy nakupené kolem ohlubně, čímž se zajistí kvalitní beton v projektované úrovni hlavy. Používá se beton, který má stupeň sednutí kužele dle Abramse 190 – 210 mm a obsahuje hlavně oblé kamenivo. Bezprostředně po ukončení betonáže se nakupená zemina odstraní a beton v hlavě piloty se upraví. Pilota se opatří armokošem, který je na konci mírně kónický a nemá patní kříž. Vtlačuje se do betonu nejprve vlastní tíhou, dále pak tlakem vhodného zařízení (lžíce nakladače). Nesmí se vibrovat (nebezpečí roztřídění betonu).

Podstatnou součástí realizace CFA pilot je monitorování řady kontrolních údajů. Při vrtání se jedná o počet otáček šneku nutný k zavrtání o určenou jednotku délky (většinou 1 m a méně), rychlost zavrtávání, potřebný přítlak, náklon lafety apod. U betonáže to pak je tlak při čerpání, množství betonu spotřebované na určitou jednotku délky, množství zeminy vynesené na povrch a jiné. [4]



Obr. 3-9: *Provádění CFA pilot: 1-vrtání do potřebné úrovně, 2-vytahování šneku za současného betonování, 3-vkládání armokoše*

Mezi výhody CFA pilot řadíme zejména rychlost a efektivitu provádění ve vhodných geotechnických podmínkách, z čehož vyplývají i nižší náklady. Dále fakt, že vrt není nutné dodatečně pažit, vyšší plášťové tření dříku ve vhodných zeminách (některé písky) a možnost využití CFA pilot při zakládání pod HPV. Bohužel nelze zkontrolovat geologickou skladbu v okolí vrtu a je nutné použít výkonné vrtné soupravy, což patří k nevýhodám.



Obr. 3-10: *Mechanizace potřebná k správnému provádění CFA pilot*

4. ENERGETICKÉ PILOTY

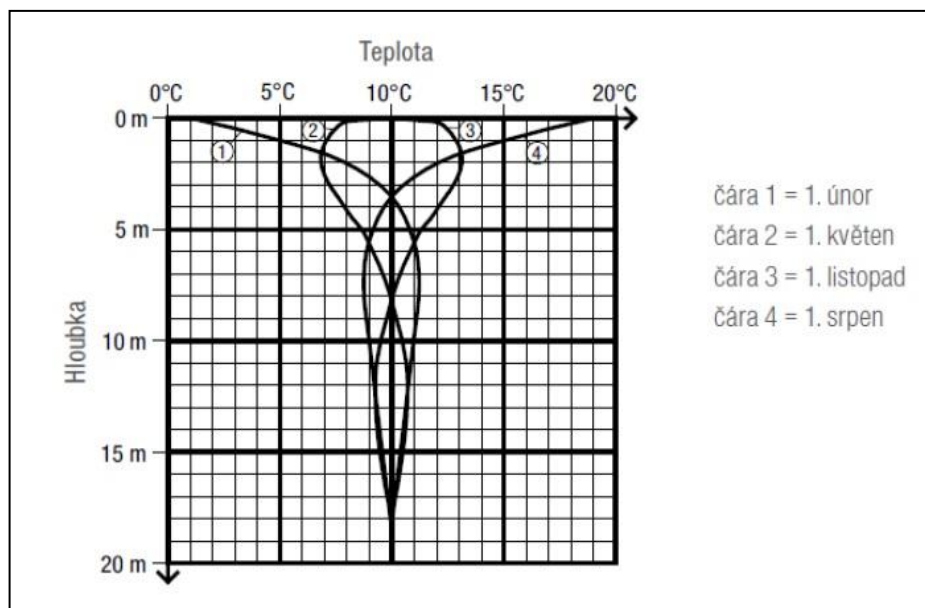
4.1 Úvod

Díky zužování zásob tuhých paliv, zejména ropy a jejich dalších produktů, je v posledních letech stále častěji slyšet o využívání obnovitelných zdrojů energie. Získávání energie ze slunečního záření, větru či proudění vody lze v ČR zařadit již mezi standard. Využívání energie země respektive energie geotermální je u nás zatím v pozadí. Většinou se využívá hlubinných vrtů s délkou přesahující 100 metrů nebo plošných kolektorů, které se ukládají do nezámrazné hloubky, nejčastěji tedy 1,2 – 1,5 m pod povrch. Koncem minulého století se však v zemích západní Evropy, zejména v Rakousku a dalších německy mluvících zemích, začaly k jímání podzemní energie využívat základové konstrukce objektů. Tyto „energetické“ konstrukce se začínají využívat stále častěji a i na našem území již byly úspěšně aplikovány. Mimo jiné zde řadíme i energetické piloty.

4.2 Podzemní energie a její využívání v základových konstrukcích

V základových konstrukcích se jako zdroj energie uvažuje tzv. *nízkopotenciální teplo*. Toto teplo je uloženo v relativně malých hloubkách (do 200 m) pod povrchem, kde teplota horniny, dána jejími teplotními charakteristikami, nepřesahuje 30 °C. [5]

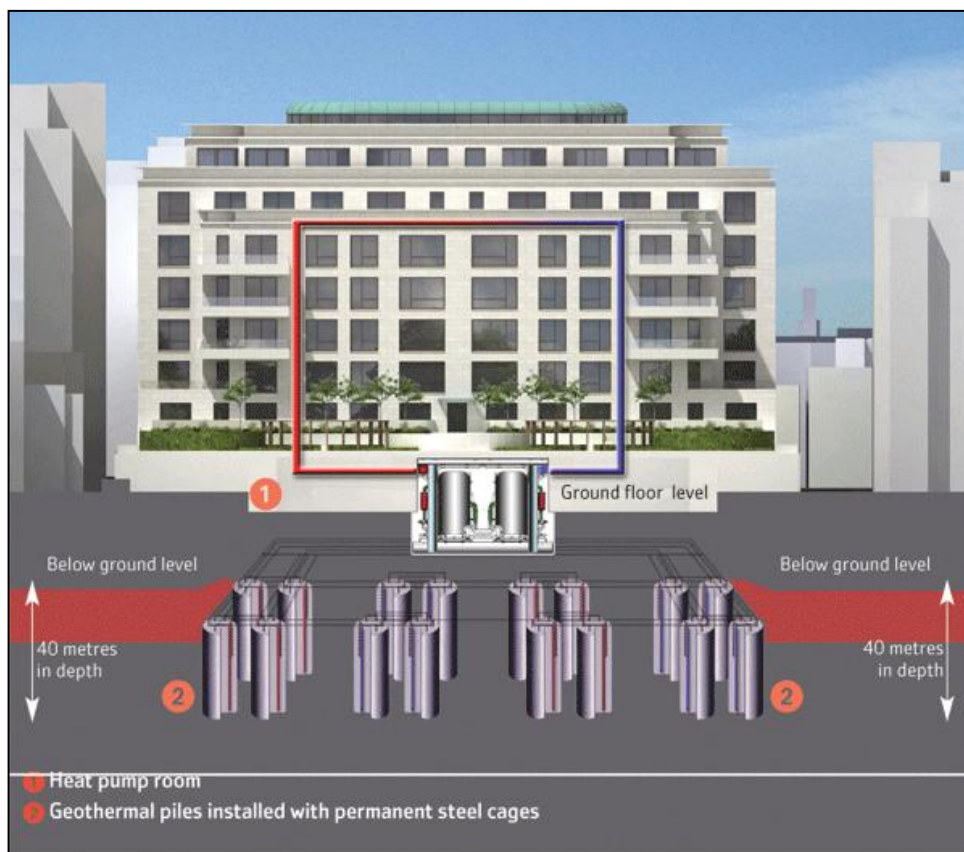
Teplota na zemském povrchu je ovlivňována téměř výhradně slunečním zářením a srážkami. Jdeme – li však hlouběji pod povrch, ztrácí toto ovlivňování na významu. Na obrázku 4-11 jsou znázorněny teploty půdy v různých kalendářních měsících do hloubky 20 m. Z obrázku je patrné, že od hloubky 18 m se teplota celoročně pohybuje okolo 10 °C, přičemž tato teplota na každých dalších 100 m hloubky stoupá o 2–3 °C. Tato skutečnost znamená jednu z hlavních výhod geotermální energie ve srovnání s ostatními obnovitelnými zdroji – není závislá na dni, ročním období ani klimatických podmínkách.



Obr. 4-11: Teploty horniny v závislosti na hloubce a ročním období

Celý systém pro využívání podzemní energie se skládá z 3 hlavních částí – *primárního okruhu* (energopiloty, energetické stěny), *tepelného čerpadla země–voda* a *sekundárního okruhu*, který je tvořen vlastní topnou/chladicí soustavou uvnitř objektu. Zjednodušeně lze princip celého systému popsat takto:

Energopiloty pod objektem akumulují teplo či chlad. V topné sezóně je nashromážděné teplo z piloty odnímáno tepelným čerpadlem, čímž dochází k ochlazení piloty. Takto získaný chlad se poté v letním období využije ke klimatizování objektu, čímž pilota získává opětovně teplo. Zatímco při využívání tepla je vždy nutný chod tepelného čerpadla, při odebírání chladu z pilot je možné chod čerpadla respektive jeho kompresoru vypustit. Takovéto chlazení objektu se nazývá *pasivní (free cooling)*, při využívání kompresoru naopak *chlazení aktivní*. Jednotlivé části systému budou podrobněji rozebrány níže, z výše zmíněného však vyplývá zásadní informace, týkající se dimenzování primárního okruhu – pro efektivní funkci a dlouhou životnost systému je klíčové, aby spotřeba tepla a chladu byla co možná nejrovnoměrnější. Jinými slovy piloty nelze využívat pouze k chlazení či pouze k vytápění/ohřevu vody, vždy musíme pracovat v režimu vytápění/chlazení.



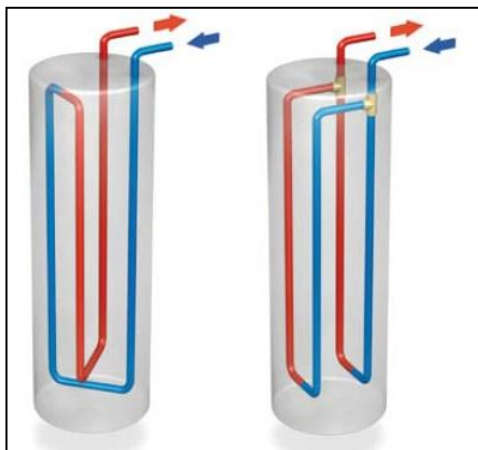
Obr. 4-12: Příklad objektu založeného na energopilotách: 1-místnost pro tepelné čerpadlo (v úrovni terénu); 2-energetické piloty; dále uvnitř objektu schematicky znázorněn sekundární okruh

4.2.1 Primární okruh – energopilota

Na rozdíl od klasické konstrukce piloty, která plní pouze statickou funkci, je energopilota kromě armokoše a betonu vystrojena speciálním potrubím, kterým proudí kapalina, plnící funkci teplonosného média. Díky tomuto potrubí získává pilota navíc funkci tepelného výměníku – působí jako zdroj tepla v zimních měsících nebo do ní můžeme v létě naopak nechtěné teplo odvádět.

Potrubí energopilot je z vysokohustotního polyetylenu (HDPE), průměr potrubí se nejčastěji volí 25 mm, přičemž tloušťka stěny je 2 – 3 mm. Jako teplonosné médium se používá směs vody a nemrznoucí směsi (nejčastěji glykol), případně solných roztoků. Potrubí je na stavbě navinuto a připevněno k výztužnému armokoši. Používají se nejčastěji tyto varianty osazení – vertikální meandr a sonda U (obr. 4-13) nebo vystrojení ve šroubovici s daným stoupáním.

Vertikální meandr je výhodný zejména díky snadné montáži, kdy se trubky ukládají do nekonečných meandrovitých smyček. Při použití *U sondy* je nutné jednotlivé smyčky spojit v hlavě piloty pomocí posuvných objímek. Tento způsob je výhodný z hlediska odvzdušňování potrubí. [6]



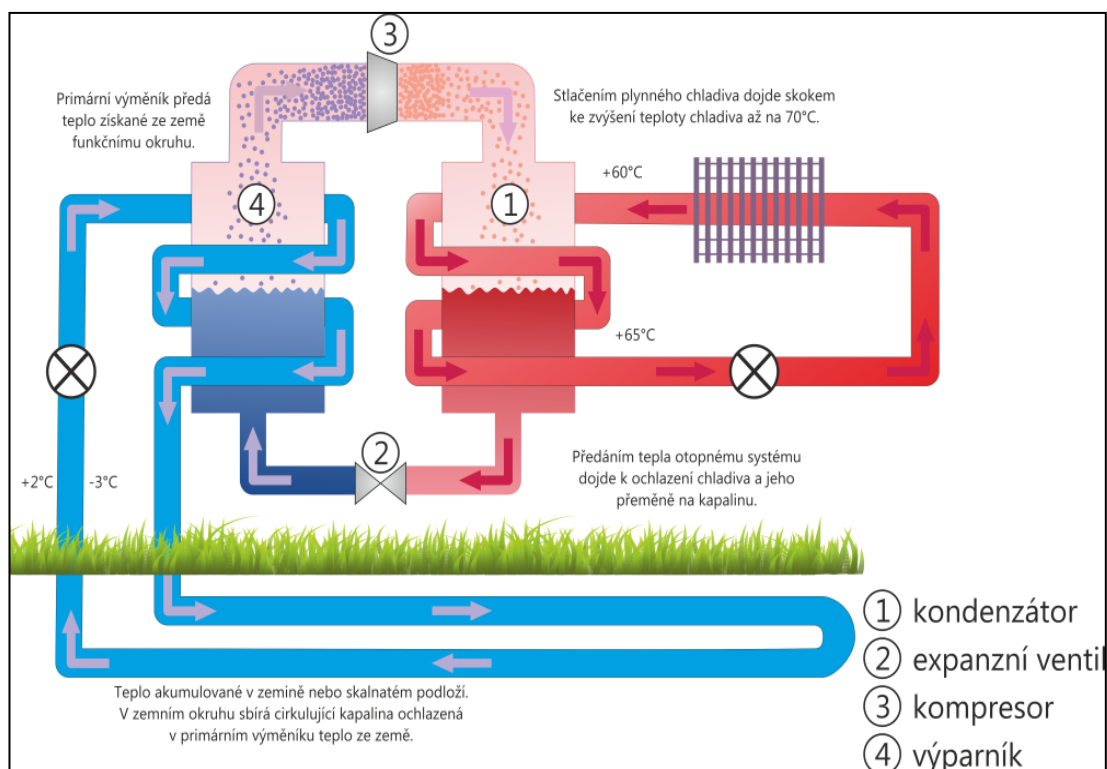
Obr. 4-13: zleva: meandr, *U sonda*

Obr. 4-14: Armokoš vystrojený potrubím

4.2.2 Tepelné čerpadlo země – voda

Čerpadlo pracuje v uzavřeném chladicím okruhu se čtyřmi základními komponenty – kompresorem, expanzní tryskou a dvěma výměníky, které reprezentuje kondenzátor a výparník. Funkčnost je založena na obráceném Carnotovu cyklu (pracuje-li čerpadlo v režimu vytápění/ohřívání). Energie uložená v zemi se přivede na výparník, kde odevzdá své skupenské teplo chladicímu okruhu, čímž se chladivo odpaří do plynného stavu. Dále se pak v kompresoru několikanásobně zvýší tlak chladiva, čímž podstatně stoupne jeho teplota. Následně chladivo putuje do kondenzátoru, kde své skupenské teplo předá topné vodě – dojde ke snížení teploty chladiva a jeho opětovnému zkapalnění. Posledním článkem je expanzní ventil, kde dojde k dalšímu snížení tlaku a tím i teploty, načež se celý cyklus opakuje. [7]

Nejnáročnějším prvkem tepelného čerpadla, co do spotřeby energie, je kompresor. Elektrická energie potřebná pro chod kompresoru je ve srovnání s celkově získanou energií přibližně třetinová. Pracuje-li čerpadlo v režimu chlazení, probíhá výše zmíněný cyklus opačně, jako např. u lednice.



Obr. 4-15: Princip tepelného čerpadla země - voda

4.3 Montáž energopilot

Technologie provádění jednotlivých druhů pilotových základů již byla vysvětlena výše. Tato kapitola se věnuje odlišnostem, které jsou dány instalací trubního systému do výztužného koše piloty. Postup níže.

1) Potrubí se položí do armokoše a silově se upevní pomocí speciálních stahovacích pásek. Upevňuje se nejčastěji v rozmezí 0,5 m a v místech změny směru.

2) V hlavě piloty se potrubí upevní, zkrátí a opatří chráničkou. Následně se označí podle montážního plánu.

3) Na konce potrubí se osadí jednotka pro tlakovou zkoušku a nastaví se zkušební tlak 6 barů, který se zapíše do protokolu.

4) Po betonáži se provede druhá tlaková zkouška. Pokud jsou odchylky od původního tlaku ve stanovených mezích, lze energetické piloty připojit na rozvodné potrubí, případně přímo na rozdělovač topného či chladicího okruhu. [6]



Obr. 4-16: Konec potrubí – chránička, označení, zařízení pro tlakovou zkoušku

4.4 Faktory ovlivňující návrh energetických základů

4.4.1 Geologie

Geologická situace staveniště je dána a návrh základové konstrukce a čerpadla jí musí být přizpůsoben. Je nutné zjistit následující parametry:

- Typ horniny a její tvrdost (důležité pro provádění vrtu)
- Tepelné charakteristiky horniny (zásadní pro návrh čerpadla)
- Přítomnost podzemní vody (ovlivní technologii provádění i návrh čerpadla)

Nejdůležitějším parametrem je tepelná vodivost λ , jejíž hodnoty se pohybují v rozmezí 1 - 4 W/(m*K). V propustných zeminách má navíc příznivý vliv podzemní voda a její proudění. Hodnoty tepelné vodivosti lze použít tabulkové a na jejich základě lze určit specifický odběrový výkon použité základové konstrukce (viz tabulka 4-6). Při nejasné hydrogeologické situaci, nebo pokud je předpokládán tepelný výkon zařízení více než 30 kW, je nutné provést půdoznalecký posudek – *Thermal Response Test*. [8]

4.4.2 Tepelné čerpadlo

Níže zmíněné parametry jsou silně provázány s vnějšími podmínkami na tzv. teplé i studené straně, tedy s teplotou požadovanou spotřebičem (topným/klimatizačním systémem) i teplotou zdroje nízkopotenciálního tepla. Čím je rozdíl těchto teplot nižší, tím vyšší je účinnost čerpadla. Pro efektivní a také ekonomické použití je samozřejmostí kvalitní izolace objektu.

- Topný výkon – teplo na výstupu čerpadla, předané vodě či vzduchu proudící v sekundárním okruhu (podlahové topení, radiátory,...), jedná se o součet obou vložených energií (geotermální + elektrická energie)
- Chladicí výkon – teplo odebrané zdroji nízkopotenciálního tepla
- Elektrický příkon – množství elektrické energie, potřebné pro chod tepelného čerpadla, zejména jeho kompresoru
- Topný/chladicí faktor (COP) – udává poměr topného/chladicího výkonu k elektrickému příkonu, jinými slovy poměr mezi energií získanou a energií vloženou [9]

4.4.3 Potrubí primárního okruhu

- Délka a průměr potrubí
- Materiál potrubí – drsnost vnitřní stěny
- Tepelná vodivost, tepelná kapacita, hustota a viskozita chladiva
- Rychlost proudění uvnitř potrubí

Potrubí musí být instalováno dle zásad hydrauliky, aby v něm docházelo k minimálním ztrátám. Je třeba si uvědomit, že délka potrubí je shora omezena a to nejen díky rozměrům piloty či jiné základové konstrukce (rozměry dány statickým výpočtem), ale také díky faktu, že při pokládce potrubí musí být dodrženy rozestupy.

Tab. 4-5: Tepelné vlastnosti vybraných zemin – ČSN EN ISO 13370

Druh zeminy	Objemová tepelná kapacita $\rho \cdot c \cdot 10^{-6}$ J/(m ³ ·K)	Tepelná vodivost λ W/(m·K)	Typické hodnoty λ W/(m·K)
Jíl	3,0	1,0-2,0	1,5
Hlína	3,0	0,9-1,4	1,5
Suchý písek	2,0	1,1-2,2	2,0
Vlhký písek	2,0	1,5-2,7	2,0
Skála	2,0	2,5-4,5	3,5

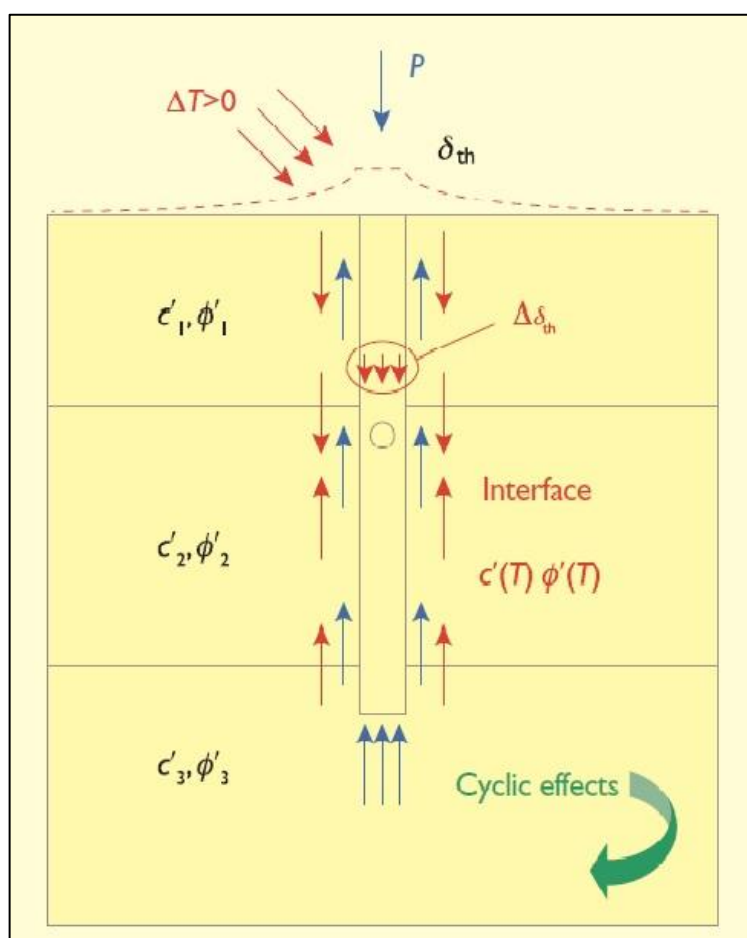
Tab. 4-6: Specifické odběrové výkony sond na zemní teplo pro čerpadla do výkonu 30 kW a délky sondy do 100m – VDI 4640

Provozní hodiny Podloží	1800 h specifický odběrový výkon v W/m sondy	2400 h
Obecné orient. hodnoty:		
Špatné podloží (suchý sediment) ($\lambda < 1,5$ W/mK)	25	20
Normální pevná hornina a vodou nasycený sediment ($\lambda < 3,0$ W/mK)	60	50
Pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí ($\lambda < 3,0$ W/mK)	84	70
Jednotlivé horniny:		
Štěrk, písek, suchý	< 25	< 20
Štěrk, 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

4.5 Rizika spojená s teplotními změnami v pilotách a podzákladích

Jelikož piloty jsou shora pevně spojeny s podporovaným objektem a pod patou a v okolí pláště jsou obklopeny zeminou, je bráněno volným deformacím, a tudíž vznikají v pilotách přídatná napětí způsobená teplotními změnami. Tyto teplotní změny se periodicky opakují díky neustálému střídání chladicí a topné fáze.

Při topné fázi, kdy je z energopilot odebráno teplo, dochází ke kontrakci pilot (zmenšení objemu) a vznikají v nich přídatná tahová napětí. V horní části se tření mobilizuje ve stejném směru jako od zatížení (směrem nahoru) a v dolní části působí protichůdně. V chladicí fázi je tomu samozřejmě obráceně. Energopilota se snaží zvětšit svůj objem, čímž vznikají další tlaková napětí. V horní části působí tření ve směru opačném, jako od zatížení objektem a v dolní části se mobilizuje směrem shodným (nahoru) viz obrázek 4-17.



Obr. 4-17: Tření na plášti v chladicí fázi

Kolísání teplot má samozřejmě vliv nejen na piloty samotné, ale také na okolní zeminu. V letních měsících, kdy teplota v těsné blízkosti pilot může dosáhnout až 40°C dochází k počátečnímu zpevnění zeminy (zvýšení E_{def}), hrozí však nebezpečí vysychání okolní zeminy a následné zhoršení jejich vlastností. Problematické je určení vlivů teplotních změn na jíly. Zahřívání může vyvolávat jak kontraktantní, tak dilatantní chování v závislosti na jejich konsolidaci. V zimě naopak může při nevhodném návrhu primárního okruhu docházet ke snižování teplot v podzákladí až k hodnotám blízkým bodu mrazu a hrozí riziko promrznutí namrzavých zemin. Při vhodném založení objektu a vyváženém návrhu odebírání a ukládání tepla do pilot by však tento problém neměl nastat. [10]

Pro eliminaci vlivu výše zmíněných skutečností se v praxi energetické základové konstrukce navrhují na vyšší stupeň bezpečnosti!

4.6 Výhody a nevýhody energetických pilot

Výhody:

- úspora až 70% nákladů spojených s vytápěním, klimatizováním a ohřevem užitkové vody,
- dobrá účinnost systému – COP běžně 3-5,
- spolehlivý (nezávisí na počasí, slunečním svitu,...) a snadno udržovatelný systém s dlouhou životností,
- prakticky bez emisí a odpadu (Skanska uvádí až o 50% nižší emise CO₂ budovy, než při použití tuhých paliv), nízká hlučnost systému,
- nejlevnější varianta získávání podzemní energie – není třeba budování zvláštních konstrukcí, použití pilot je nutné již pro správné založení objektu,
- návratnost investice v rozmezí 5 – 10 let.

Nevýhody:

- vyšší počáteční náklady,
- při návrhu nutno zvážit teplotní ovlivnění podzákladí a také vliv přidavných napětí, vznikajících uvnitř piloty v důsledku změn teploty,
- při dimenzování a následné realizaci nutná kooperace specialistů z různých oborů,
- v České republice prozatím nedostatečná projekční a dodavatelská zkušenost.

4.7 Příklady využití energetických stavebních konstrukcí

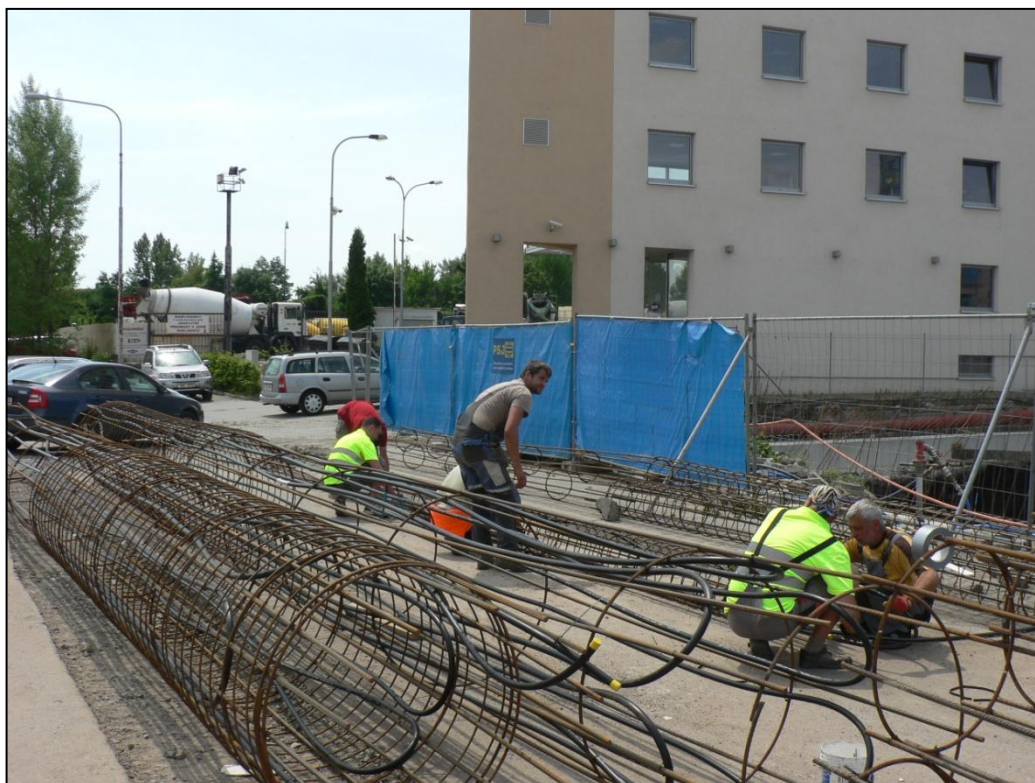
Je zřejmé, že k jímání geotermální energie lze s výhodou využít množství dalších podpovrchových konstrukcí. Krom pilotových základů se stále častěji začínají využívat aktivované podzemní stěny či tunelová obezdívka. Hlubinné základy či podzemní liniové stavby můžeme rovněž využívat k vytápění či chlazení objektů sousedních, které s danou konstrukcí zdánlivě nesouvisí. Samozřejmě lze potrubím vystrojit i základové desky či patky, nicméně jejich použití je ve srovnání s výše zmíněnými konstrukcemi neefektivní.

V současnosti se zkoušejí další aplikace, například využití základových pilot mostních opěr k rozmrazování povrchu mostních desek či aktivace kotev při budování tunelů (jak ražených, tak přesypávaných tunelů). Mluví se také o využívání opěrných/zárubních stěn a hřebíků. Díky rostoucí poptávce po obnovitelných zdrojích jde výzkum v této oblasti stále kupředu, nicméně ve většině zemí zůstává využívání energeticky aktivních základových konstrukcí stále v pozadí. [11]

V České republice je asi nejznámější stavbou využívající podzemní geotermii brněnský AZ Tower, který je založen na energopilotách o celkové délce 1800 m, což představuje potenciál až 230 kW tepelné energie. Geologické poměry na staveništi bohužel neumožňují vyšší potenciál i přesto, že založení dvou podlaží podzemních parkovacích garáží je plně pod hladinou podzemní vody. Je to díky milánské stěně po obvodu stavby, která dosahuje do horizontu nepropustných zemin, tudíž piloty nikdy nebudou zcela v proudech podzemní vody. [12]

Mezi další realizace na našem území patří výstavba tří bytových domů BUBENEČ 12 v Praze, kde bylo využito 78 energopilot o průměrech 620 – 900 mm, s délkami v rozmezí 5 – 13 m. Navíc byla k jímání chladu z podloží uzpůsobena také základová deska, společná pro všechny 3 objekty. Celý systém bude v letních měsících do objektu dodávat cca 60 kW chladu. [13]

Energetické piloty byly použity i u dalších, menších projektů v naší zemi. Plánuje se také využití energopilot při stavbě Českého technologického parku v Brně a dá se očekávat, že do budoucna se i u nás použití energetických základů více rozšíří, stejně jako v Rakousku, Německu či Británii.



Obr. 4-18: *Montáž potrubí energetických pilot pod AZ Tower*



Obr. 4-19: *Bytové domy Bubeneč 12, Praha*

5. NÁVRH ZALOŽENÍ OBJEKTU

5.1 Geomorfologie

Staveniště se nachází v Brně – Štýřicích. Pozemek je součástí louky, leží na rovině a nachází se v nadmořské výšce 201 m. n. m. V blízkosti jsou zavedeny veškeré inženýrské sítě. Přístup ke staveništi je možný po místních komunikacích.

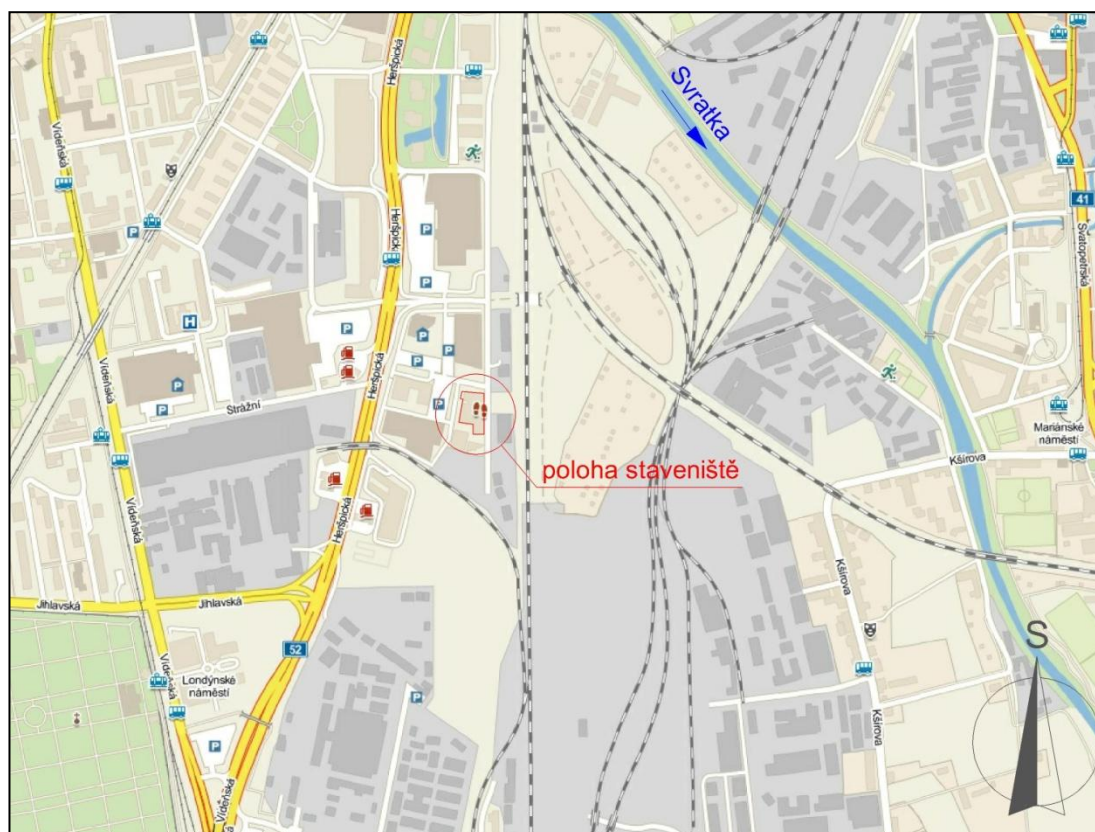
Asi 600 m severovýchodně od staveniště protéká řeka Svratka, jejíž hladina je přibližně o 3 m níže, než úroveň terénu staveniště. Díky dostatečné vzdálenosti od pozemku považujeme riziko zaplavení za minimální. Celá oblast se nachází v mírném podnebném pásu, průměrná roční teplota je 8,8°C a roční úhrn srážek se pohybuje okolo 100 mm/m².

5.2 Geologická stavba širšího okolí

Oblast se nachází v Bobravské vrchovině, která náleží Českému masívu, jenž představuje hrást'ovou strukturu variského orogenu ovlivněného alpínskou orogenezí. Konkrétněji se objekt se nachází v moravsko – slezské blokové stavbě Českého masívu. Posuzovaný objekt spadá pod Brněnský masív, konkrétně Brunovistulikum. Krystalinická jednotka Brunovistulikum je od podloží tvořena převážně předdevonskými magmatickými hlubinnými horninami, z nichž se nejčastěji vyskytuje granodiorit. Skalní masív hlubinných magmatitů se na východní straně noří pod Karpatské příkrovy a na povrch vystupuje jako Brněnský masív, který je rozdělen úzkou zónou metamorfovaných bazických hornin severojižního směru na západní a východní část. Ve východní části se vyskytují kvartérní fluvialní sedimenty a sedimenty vodních nádrží, také se zde vyskytují fluvialní písky a štěrky. V západní části se vyskytují převážně oblasti tvořené navážkami. Ze severu je horninové prostředí budováno komplexem křídových křemenných sedimentů – kvádrových pískovců a z jihu je tvořeno neogeními vápnitými jíly (tégly) a slíny. Místy se vyskytují marinní písky. Z větší části je Brunovistulikum překryto kvartérními sedimentárními klastickými horninami, z nichž nejčastěji se vyskytují spraše a eolické sprašové hlíny.

5.3 Hydrogeologie

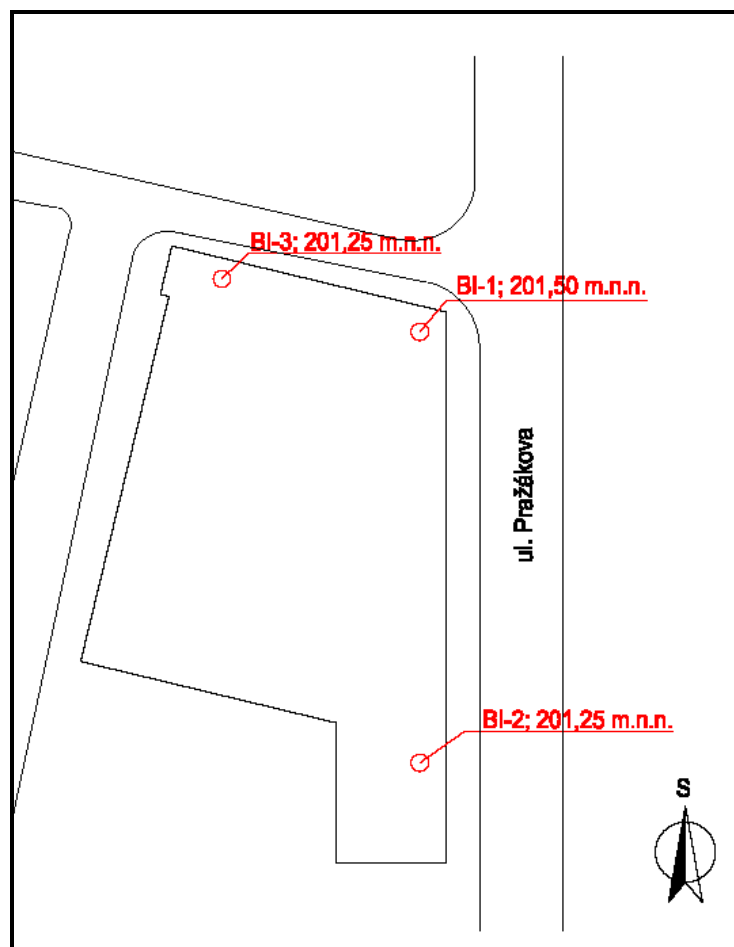
Zkoumaná oblast je v dostatečné vzdálenosti od velkých toků. Propustnost horninového prostředí je průlinová, v hlouběji uložených skalních horninách puklinová. Hladina podzemní vody byla nejvýše zastižena v hloubce 5,40 m pod úrovní terénu.



Obr. 5-20: Širší vztahy v okolí staveniště

5.4 Průzkumná díla

Ve výše zmíněné lokalitě byly provedeny 3 průzkumné vrty – 2 do hloubky 15 m a poslední do hloubky 30 m. Na 10 odebraných neporušených vzorcích zeminy byly provedeny základní zrnitostní rozbory a smykové zkoušky a dále byly provedeny zrnitostní rozbory tří odebraných porušených vzorků.



Obr. 5-21: Poloha, označení a nadmořská výška vrtů

Geologická stavba zjištěná ve všech vrtech byla dosti podobná. Svrchní část zájmového území je tvořena antropogenními navážkami charakteru písčité až prachovité hlíny tuhé konzistence. V hlíně byly zastiženy zbytky stavebního odpadu, kusů cihel a v sondě BI-3 byla navíc při povrchu zastižena 30 cm silná vrstva stavebního odpadu kontaminovaná ropnými látkami.

Pod vrstvou navážek bylo zastiženo kvartérní souvrství. Jeho svrchní část je tvořena prachovitými a jílovitoprachovitými hlínami, které do sebe vzájemně přecházejí. Tyto zeminy jsou převážně tuhé, lokálně tuhé až měkké konzistence. Na bázi souvrství hlín byla sondou BI-2 zastižena vrstva přechodových písčitých hlín tuhé konzistence. Spodní část kvartérního souvrství je tvořena souvrstvím zvodnělých a středně ulehlých fluvialních písků a štěrků.

Předkvarterní podloží je v zájmovém území tvořeno souvrstvím neogenních písků a jílu s výraznou příměsí písčité a prachovité složky. Soudržná část neogenního souvrství je představována vrstvami jílu pevné konzistence, případně prachovitých jílu tuhé konzistence. Nesoudržné neogenní sedimenty jsou reprezentovány vrstvami prachovitých a jílovitých písků mocnosti 0,2 – 3,0 m. Tyto písky jsou převážně zvodnělé a ulehlé až silně ulehlé.

5. 5 Výpočet únosnosti vybrané piloty – zatížení 590 kN

Vstupní parametry:

První vybraná pilota délky 6 + 0,2 m, průměru 630 mm je níže posouzena na 1. MS a 2. MS dle ČSN EN 1997. Byl použit 2. návrhový přístup. Jedná se o vrtanou pilotu paženou ocelovými pažnicemi, které budou v průběhu betonáže postupně vytahovány. Základová spára se nachází v hloubce 5,72 m. Hladina podzemní vody se předpokládá v hloubce 6,40 m pod úrovní původního terénu. Maximální zatížení této piloty je dle statického výpočtu 590 kN.

Tab. 5-7: Parametry zemin

vrstva	od – do [m]	zemina	γ, γ'	φ'	c'
1	0,00 – 2,35	F4 CSY	18,50	25,00	10,00
2	2,35 – 4,30	F6 CL	19,00	28,25	2,00
3	4,30 – 5,50	F4 CS	18,50	27,00	10,00
4	5,50 – 6,40	S5 SF	20,00	32,00	10,00
5	6,40 – 9,50	G3 G-F	10,50	36,00	0,00
6	9,50 – 10,00	F8 CH	10,50	17,00	12,00
7	10,00 – 13,00	S4 SM	8,00	28,00	10,00
8	13,00 – 15,00	F8 CH	10,50	17,00	12,00

Svislá návrhová únosnost – 1. mezní stav:

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} \quad (5-1)$$

U_{vd} – svislá návrhová únosnost

U_{bd} – návrhová únosnost paty piloty

U_{fd} – návrhová únosnost na plášti piloty

$$\text{Návrhová únosnost paty: } U_{bd} = k_1 \cdot A_s \cdot R_d / \gamma_b \quad (5-2)$$

$$\gamma_b = 1,1$$

$$k_1 = 1,1 \text{ (L = 6 m)}$$

$$A_s = \pi \cdot d^2 / 4 = \pi \cdot 0,63^2 / 4 = 0,312 \text{ m}^2$$

$$R_d = 1,2 \cdot c_d \cdot N_{cd} + (1 + \sin \varphi) \cdot \gamma_1 \cdot L \cdot N_{dd} + 0,7 \cdot \gamma_2 \cdot d / 2 \cdot N_{bd} \quad (5-3)$$

$$\varphi_k = \varphi_d = 28^\circ \text{ (}\gamma_M = 1,0\text{)}$$

$$N_{dd} = \exp(\pi \cdot \tan \varphi_d) \cdot \tan^2(45 + \varphi_d / 2) \quad (5-4)$$

$$N_{dd} = \exp(\pi \cdot \tan 28) \cdot \tan^2(45 + 28 / 2) = 14,720$$

$$N_{cd} = (N_{dd} - 1) \cdot \cot \varphi_d \quad (5-5)$$

$$N_{cd} = (14,720 - 1) \cdot \cot 28 = 25,803$$

$$N_{bd} = 1,5 \cdot (N_{dd} - 1) \cdot \tan \varphi_d \quad (5-6)$$

$$N_{bd} = 1,5 \cdot (14,72 - 1) \cdot \tan 28 = 10,942$$

$$\gamma_1 = \sum_{i=1}^n h_i \cdot \gamma_i / \sum_{i=1}^n h_i \quad (5-7)$$

$$\gamma_1 = (0,22 \cdot 20 + 3,1 \cdot 10,5 + 0,5 \cdot 10,5 + 1,72 \cdot 8) / 6 = 9,327 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_2 = 8,0 \text{ kN/m}^3$$

$$R_d =$$

$$1,2 \cdot 10 \cdot 25,803 + (1 + \sin 28) \cdot 9,327 \cdot 6 \cdot 14,720 + 0,7 \cdot 8 \cdot 0,63 / 2 \cdot 10,942 =$$

$$1539,38 \text{ kN}$$

$$U_{bd} = 1,1 \cdot 0,312 \cdot 1539,38 / 1,1 = 479,86 \text{ kN}$$

$$\text{Návrhová únosnost pláště: } U_{fd} = \pi \cdot \sum d_i \cdot h_i \cdot f_{si} / \gamma_s \quad (5-8)$$

$$\gamma_s = 1,1$$

$$f_{si} = \sigma_{xi} \cdot \tan(\varphi_d / \gamma_{r1}) + c_d / \gamma_{r2} \quad (5-9)$$

$$\sigma_{xi} = k_2 \cdot \sigma_{ori} \quad (5-10)$$

$$k_2 = 1,0 \text{ (z} \leq 10,0 \text{ m)}$$

$$\gamma_{r1} = 1,0 \text{ (z} > 3,0 \text{ m)}$$

$$\gamma_{r2} = 1,2 \text{ (betonáž do vrtu zapaženého ocelovou pažnicí pod HPV)}$$

$$\text{hloubka } 5,72 - 6,40 \text{ m: } \sigma_{or1} = 0,34 \cdot 20 = 6,80 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x1} = 1,0 \cdot 6,8 = 6,80 \text{ kPa}$$

$$f_{s1} = 6,8 \cdot \tan 32 + 10 / 1,2 = 12,58 \text{ kPa}$$

$$\text{hloubka } 6,40 - 9,50 \text{ m: } \sigma_{or2} = 0,68 \cdot 20 + 1,55 \cdot 10,5 = 29,88 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x2} = 1,0 \cdot 29,88 = 29,88 \text{ kPa}$$

$$f_{s2} = 29,88 \cdot \text{tg}36 = 21,71 \text{ kPa}$$

$$\text{hloubka } 9,50 - 10,00 \text{ m: } \sigma_{or3} = 0,68 \cdot 20 + 3,1 \cdot 10,5 + 0,25 \cdot 10,5 = 48,78 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x2} = 1,0 \cdot 48,78 = 48,78 \text{ kPa}$$

$$f_{s2} = 48,78 \cdot \text{tg}17 + 12/1,2 = 24,91 \text{ kPa}$$

$$\text{hloubka } 10,00 - 11,72 \text{ m: } \sigma_{or4} = 0,68 \cdot 20 + 3,1 \cdot 10,5 + 0,5 \cdot 10,5 + 0,86 \cdot 8 = 58,28 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x2} = 1,0 \cdot 58,28 = 58,28 \text{ kPa}$$

$$f_{s2} = 58,28 \cdot \text{tg}28 + 10/1,2 = 39,32 \text{ kPa}$$

$$U_{fd} = \pi \cdot 0,63 \cdot (0,68 \cdot 12,58 + 3,1 \cdot 21,71 + 0,5 \cdot 24,91 + 1,72 \cdot 39,32) / 1,1 = 280,56 \text{ kN}$$

$$\text{Návrhová únosnost piloty: } U_{vd} = 479,86 + 280,56 = 760,43 \text{ kN}$$

Posouzení piloty na 2. mezní stav:

Tab. 5-8: Únosné vrstvy

zemina	od – do [m]	I_D	D_i	D_i/d_i
S5 SF	5,72 – 6,40	0,5	0,34	0,540
G3 G-F	6,40 – 9,50	0,5	2,23	3,540
S4 SM	10,00 – 11,72	0,7	5,14	8,159

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu} \quad (5-11)$$

R_{bu} – mezní únosnost

R_{su} – mezní únosnost na plášti piloty

R_{pu} – mezní únosnost paty piloty

$$\text{Mezní únosnost na plášti piloty: } R_{su} = 0,7 \cdot m_2 \cdot \pi \sum d_i \cdot h_i \cdot q_{si} \quad (5-12)$$

$m_2 = 1,0$ (betonáž do suchého vrtu a pod vodu)

$$q_{si} = a - b/(D_i/d_i) \quad (5-13)$$

Tab. 5-9: Regresní koeficienty a mezní plášťové tření i-té vrstvy

zemina	I_D	a	b	q_{si}
S5 SF	0,5	62,46	16,06	32,70
G3 G-F	0,5	62,46	16,06	57,92
S4 SM	0,7	91,22	48,44	85,28

$$R_{su} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot \pi \cdot 0,63 \cdot (0,68 \cdot 32,7 + 3,1 \cdot 57,92 + 1,72 \cdot 85,28) = 482,81 \text{ kN}$$

$$\text{Příspěvek paty piloty: } R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot s_{25}/s_y \quad (5-14)$$

$$R_y = R_{su}/(1 - \beta) \quad (5-15)$$

$$\beta = q_0/(q_0 + 4 \cdot q_s \cdot L/d_0) \quad (5-16)$$

$$q_0 = e - f/(L/d_0) \quad (5-17)$$

$$q_0 = 490,34 - 445,42/(6/0,63) = 443,57 \text{ kPa}$$

$$q_s = \sum_{i=1}^n q_{si} \cdot d_i \cdot h_i / \sum_{i=1}^n d_i \cdot h_i \quad (5-18)$$

$$q_s = 32,7 \cdot 0,68 + 57,92 \cdot 3,1 + 85,28 \cdot 1,72 / 5,5 = 63,36 \text{ kPa}$$

$$\beta = 443,57/(443,57 + 4 \cdot 63,36 \cdot 6/0,63) = 0,1552$$

$$R_y = 482,81/(1 - 0,1552) = 571,53 \text{ kN}$$

$$s_y = I \cdot R_y/(d \cdot E_s) \quad (5-19)$$

$$I = I_1 \cdot R_k \quad (5-20)$$

$$I_1 = 0,148$$

$$R_k = 1,10 \text{ (K = 1809,42)}$$

$$I = 0,148 \cdot 1,1 = 0,163$$

$$E_s = \sum_{i=1}^n E_{si} \cdot h_i / \sum_{i=1}^n h_i \quad (5-21)$$

$$E_{s1} = 8,49 \text{ (h = 0,68 m; } I_D = 0,5)$$

$$E_{s2} = 15,89 \text{ (h = 3,10 m; } I_D = 0,5)$$

$$E_{s3} = 14,84 \text{ (h = 1,72 m; } I_D = 0,7)$$

$$E_s = (8,49 \cdot 0,68 + 15,89 \cdot 3,1 + 14,84 \cdot 1,72) / 5,5 = 14,65 \text{ MPa}$$

$$K = (E_b/E_s) = 26\,500/14,65 = 1809,42 \quad (5-22)$$

$$s_y = 0,163 \cdot 571,53 / (0,63 \cdot 14,65) = 10,08 \text{ mm}$$

$$R_{pu} = 0,1552 \cdot 571,53 \cdot 25 / 10,08 = 219,96 \text{ kN}$$

$$\text{Mezní únosnost piloty pro } s=25\text{mm: } R_{bu} = 482,81 + 219,96 = 702,76 \text{ kN}$$

Mezní zatěžovací křivka:

Pro obor zatížení $0 \leq R \leq R_y$ se nacházíme v parabolické větvi o rovnici

$$s = s_y \cdot (R/R_y)^2 \quad (5-23)$$

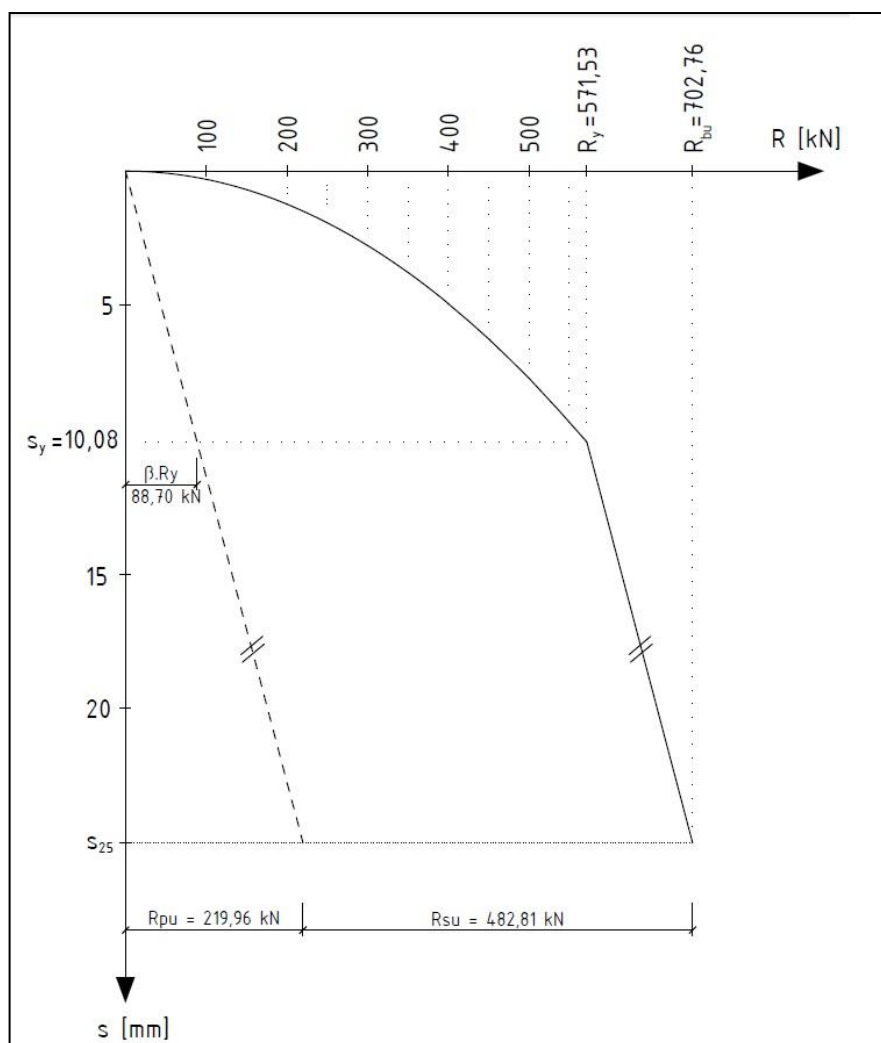
Pro výše zmíněný případ: $s = 10,08 \cdot (R/571,53)^2$

R_i [kN]	100	200	300	400	500	550
s_i [mm]	0,31	1,23	2,78	4,94	7,72	9,34

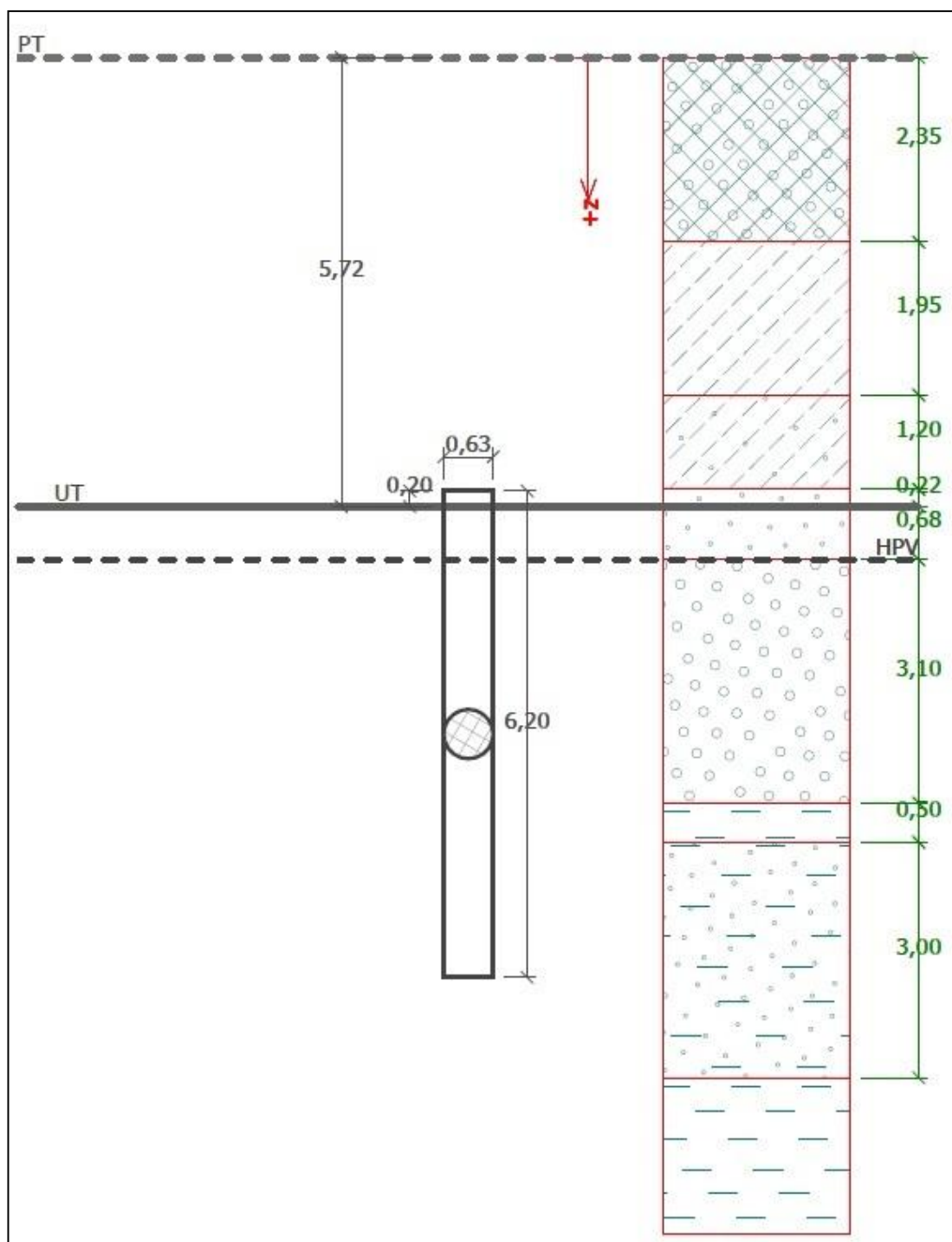
Pro obor zatížení $R_y \leq R \leq R_{bu}$ se nacházíme v lineární větvi o rovnici

$$s = s_y + \frac{s_{25} - s_y}{R_{bu} - R_y} \cdot (R - R_y) \quad (5-23)$$

Pro výše zmíněný případ: $s = 10,08 + 0,11369 \cdot (R - 571,53)$



Obr. 5-22: Mezní zatěžovací křivka piloty délky 6 m, průměru 630 mm



Obr. 5-23: Geologický profil pro výpočet v GEO 5

Technologický popis:

Vrt pro budoucí pilotu bude proveden spirálovým vrtákem průměru 570 mm a zároveň s postupem vrtání bude zapažován spojovatelnými ocelovými pažnicemi o vnějším průměru 630 mm. K zatačení a následnému vytahování pažnic bude použita vrtná souprava s dostatečným krouticím momentem, která bude navíc vybavena výkonným dopažovacím zařízením. Po dovrtnání na projektovanou hloubku se za účelem vyčištění paty vrtu provedou 2 – 3 návrtů zavírací šapou. Před instalací armokoše a následnou betonáží je možné odčerpat z vrtu podzemní vodu za předpokladu, že její přítok ze dna není silný.

Pilota je navržena jako železobetonová. Podélná výztuž armokoše sestává z dvanácti profilů R14 z oceli 10 505. Průřezová plocha výztuže A_s by měla být větší než $0,5\% A_c$ (plocha průřezu). Navržená plocha podélné výztuže $A_s = 1\,857\text{ mm}^2$; $0,5\% A_c = 1\,559\text{ mm}^2$. Při svařování armokoše budou použity čtyři montážní kruhy profilu R12, první bude přivařen 400 mm od horního konce podélné výztuže a další tři kusy budou přivařeny s krokem 1800 mm. Jako příčná výztuž je uvažován spirál průměru 8 mm se stoupáním po 150 mm. Ve vrchní části armokoše budou navíc přivařeny dva třmínky průměru R12 ve vzdálenosti 250 mm, respektive 350 mm od horního konce armokoše. K dodržení krycí vrstvy výztuže budou použita betonová distanční kolečka, která budou vždy po třech kusech instalována v úrovni montážních kruhů, celkem jich tedy bude potřeba dvanáct kusů. Minimální krytí výztuže je uvažováno 100 mm. Schéma výztuže armokoše viz výkres V2.

Pro betonáž piloty se použije transportbeton C30/37. Složení betonové směsi dle ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Betonáž bude provedena sypákovými rourami s minimální světlostí 150 mm. Vytahování pažnic bude zahájeno pozvolna v průběhu betonáže, musí však být udržován dostatečný sloupec betonu nad patou pažnic, který je nutný k vyvození potřebného přetlaku (brání vniknutí vody či zeminy do vrtu a povytažení armokoše). Hlavu piloty nutno přebetonovat, aby po odpažení neklesla pod projektovanou úroveň.

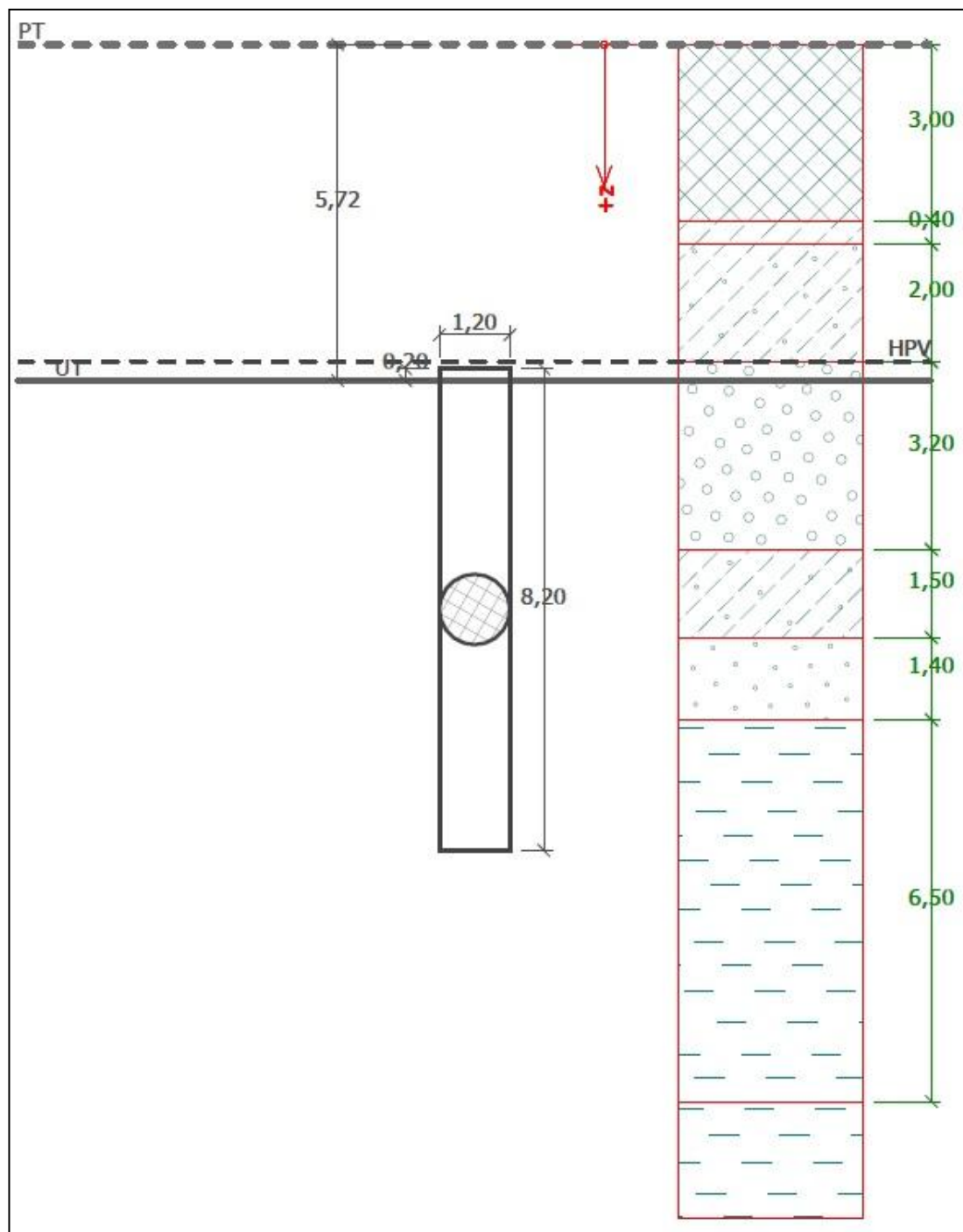
5. 6 Výpočet únosnosti vybrané piloty – zatížení 885 kN

Vstupní parametry:

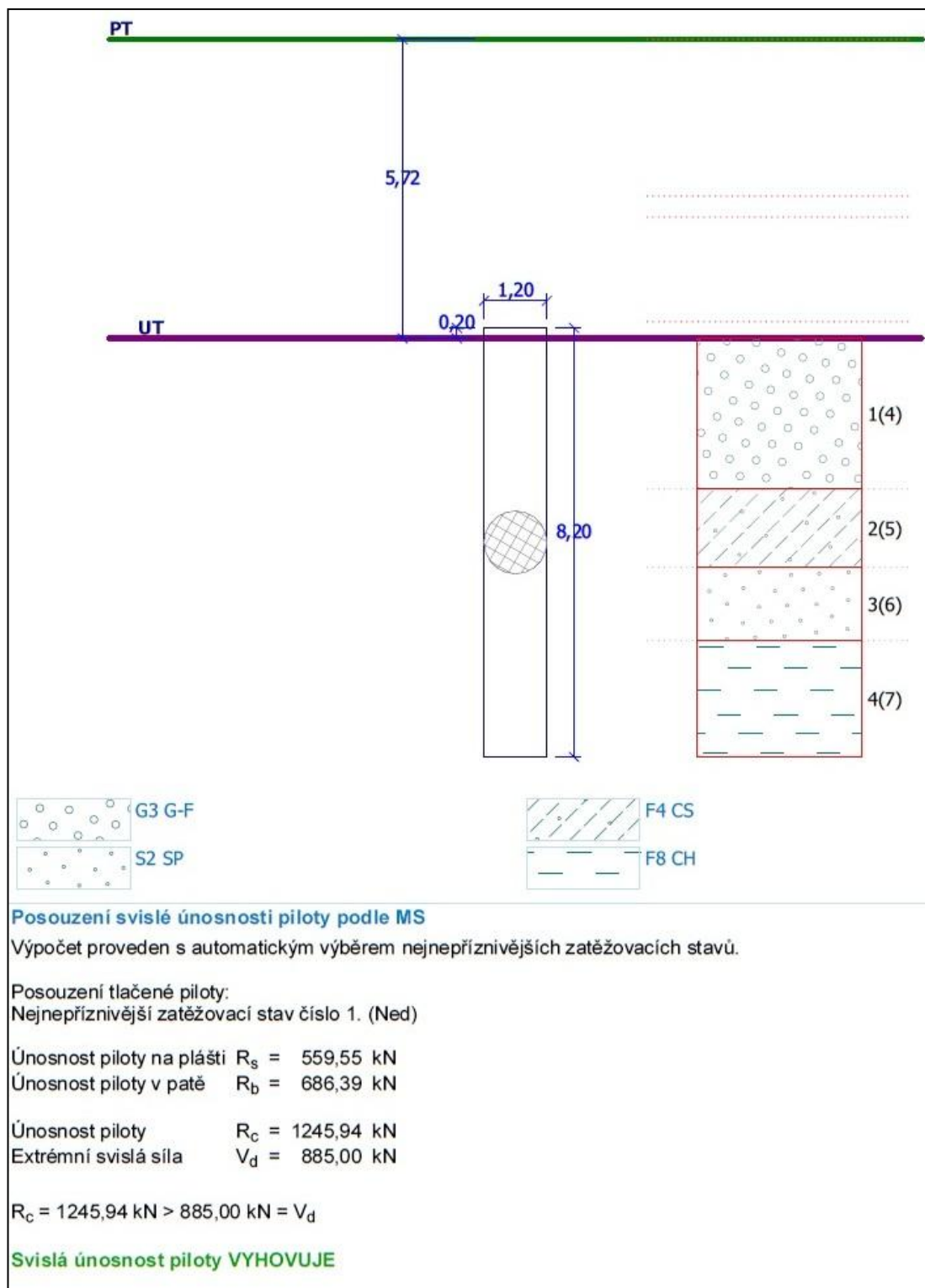
Druhá vybraná pilota délky 8 + 0,2 m, průměru 1200 mm je níže posouzena pouze na 1. MS dle ČSN EN 1997. Byl použit 2. návrhový přístup. Jedná se o vrtanou pilotu paženou ocelovými pažnicemi, které budou v průběhu betonáže postupně vytahovány. ZS v hloubce 5,72 m; HPV se v místě této piloty předpokládá v hloubce 5,40 m pod úrovní původního terénu. Maximální zatížení této piloty je dle statického výpočtu 885 kN. Pilota se nachází v severozápadní části stavební jámy, tudíž je pro vstupy výpočtu uvažován geologický profil vrtu BI-3. Výpočet proveden pomocí softwaru GEO 5.

Tab. 5-10: *Vstupní parametry výpočtu v programu GEO 5*

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	ν [-]
1	F4 CSY		25,00	10,00	18,50	0,35
2	F6 CL		28,50	2,00	19,00	0,40
3	F4 CS		27,00	10,00	18,50	0,35
4	S5 SF		32,00	10,00	20,00	0,35
5	G3 G-F		36,00	0,00	20,50	0,25
6	F8 CH		17,00	12,00	20,50	0,42
7	S4 SM		28,00	10,00	18,00	0,35
8	S2 SP		34,00	0,00	18,50	0,28



Obr. 5-25: Geologický profil pro výpočet v GEO 5 (pilota průměru 1200mm)



Obr. 5-26: Výsledky výpočtu v programu GEO 5 (pilota průměru 1200 mm)

Technologický popis:

Vrt pro budoucí pilotu bude proveden spirálovým vrtákem průměru 1070 mm a zároveň s postupem vrtání bude zapažován spojovatelnými ocelovými pažnicemi o vnějším průměru 1200 mm. K zatáčení a následnému vytahování pažnic bude použita vrtná souprava s dostatečným krouticím momentem, která bude navíc vybavena výkonným dopažovacím zařízením. Po dovrtání na projektovanou hloubku se za účelem vyčištění paty vrtu provedou 2 – 3 návrtý zavírací šapou. Před instalací armokoše a následnou betonáží je možné odčerpat z vrtu podzemní vodu za předpokladu, že její přítok ze dna není silný.

Pilota je navržena jako železobetonová. Podélná výztuž armokoše sestává z šestnácti profilů R16 z oceli 10 505. Průřezová plocha výztuže A_s by měla být větší než 0,25% A_c (plocha průřezu). Navržená plocha podélné výztuže $A_s=3\,217\text{ mm}^2$; 0,25% $A_c=2\,827\text{ mm}^2$. Při svařování armokoše bude použito pět montážních kruhů profilu R12, první bude přivařen 400 mm od horního konce podélné výztuže a další čtyři kusy budou přivařeny s krokem 1775 mm. Jako příčná výztuž je uvažován spirál průměru 8 mm se stoupáním po 150 mm. Ve vrchní části armokoše budou navíc přivařeny dva třmínky průměru R12 ve vzdálenosti 550 mm, respektive 650 mm od horního konce armokoše. K dodržení krycí vrstvy výztuže budou použita betonová distanční kolečka, která budou vždy po čtyřech kusech instalována v úrovni montážních kruhů, celkem jich tedy bude potřeba dvacet kusů. Minimální krytí výztuže je uvažováno 100 mm. Schéma výztuže armokoše viz výkres V3.

Pro betonáž piloty se použije transportbeton C30/37. Složení betonové směsi dle ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: *Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Betonáž a následné odpažování by měly probíhat shodně jako v případě první uvažované piloty (viz str. 45).

5. 7 Posouzení vybraných pilot

Pilota průměru 630 mm, délky 6 m – 1. MS (GEO 5)

$$R_d=709,63 \text{ kN} > V_d=590 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pilota průměru 630 mm, délky 6 m – 1. MS (bez použití softwaru)

$$R_d=760,43 \text{ kN} > V_d=590 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pilota průměru 630 mm, délky 6 m – 2. MS (limitní sedání 25 mm, bez softwaru)

$$R_{bu}=702,76 \text{ kN} > V_d=590 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pilota průměru 1200 mm, délky 8 m – 1. MS (GEO 5)

$$R_d=1245,94 \text{ kN} > V_d=885 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6. ZÁVĚR

Problematika energetických základových konstrukcí zasahuje do různých inženýrských odvětví a pro ekonomicky efektivní navrhování je potřeba spolupráce specialistů z různých oborů – geotechniky, technického zařízení budov, materiálového inženýrství a dalších. V oblasti vývoje a výzkumu to platí samozřejmě také. V naší zemi jsou prozatím energetické základové konstrukce v pozadí a při využívání geotermální energie stále dominují konveční zemní (plošné) kolektory a hlubinné vertikální sondy. Je zřejmé, že efektivní využití energeticky aktivních konstrukcí je možné pouze ve vhodných geotechnických podmínkách tam, kde je zapotřebí ze statického hlediska použití pilotových základů nebo různých typů podzemních stěn.

Zvláštní pozornost by měla být, a v zahraničí již také je, věnována teplotnímu ovlivňování podzákladí a samotných energetických konstrukcí. Jedná se o rozsáhlou a v neposlední řadě velmi složitou problematiku, která by do budoucna mohla poskytnout podklady k sofistikovanějšímu navrhování. V současnosti se navrhuje energetické základy na vyšší stupeň bezpečnosti, lze však předpokládat, že tento postup návrhu se časem změní.

V České republice je prozatím využívání základových konstrukcí k jímání geotermální energie spíše raritou. Díky zvyšování počtu zahraničních investorů na našem trhu a silícímu trendu ve využívání obnovitelných zdrojů energie má však mírně stoupající tendenci. Tento trend bude pravděpodobně dále nabírat na síle a poptávka po energetických základech může stoupnout. Nízké emise budov, spolehlivost systému a rychlá návratnost investic mohou být pro potenciální investory důležitými aspekty.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MASOPUST, J. *Vrtané piloty*. 1. vyd. [Praha]: Čeněk a Ježek, 1994. 263 s. ISBN 80-238-2755-3.
- [2] MASOPUST, J. *Speciální zakládání staveb - 1. díl*. Brno: AN CERM, s.r.o., 2004. 184 s. ISBN 80-214-2770-1.
- [3] TURČEK, P. a kolektiv: *Zakládání staveb*. JAGA, Bratislava, 2005. 302 s. ISBN 80-8076-023-3
- [4] FLEMING, K.-WELTMAN, A.-RANDOLPH, M.-ELSON, K. *Piling engineering, Third edition*. CRC Press, 2008. 408 s. ISBN 978-0415266468.
- [5] BERBER, A. *Geothermal Energy Piles* [online]. 2010, [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: < <http://www.slideshare.net/berberae/geothermal-energy-piles> >
- [6] *Systémová technika Raugao pro využití zemního tepla* [online]. 2007, [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.rehau.com/linkableblob/CZ_cs/681210/data/AnyBinary_ZISVIeV1Ra_0NjDE_E7MCQ__-data.pdf>
- [7] KUCHAR, J. *Co je to tepelné čerpadlo?* [online]. [cit. 2014-03-25] Dostupné z: < <http://www.tckuchar.cz/tepelna-cerpadla/co-je-to-tepelne-cerpadlo.html> >
- [8] GE-TRA s.r.o. *Energetické piloty* [online]. [cit 2014-04-02] Dostupné z: <<http://www.ge-tra.cz/problematiky/energeticke-piloty>>
- [9] *Geothermal heat pump* [online]. [cit 2014-04-02] Dostupné z: < http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_heat_pump >
- [10] LALOUI, L.-DI DONNA, A. *Understanding the behavior of energy geo-structures* [online]. 2011, [cit 2014-04-06] Dostupné z: <<http://www.icevirtuallibrary.com/content/article/10.1680/cien.2011.164.4.184>>
- [11] LALOUI, L.-DI DONNA, A. *Energy Geostructures: Innovation in Underground Engineering*. Wiley-ISTE, 2013. 320 s. ISBN 978-1-84821-572-6

- [12] *Česko má novou nejvyšší budovu* [online]. 2013 [cit. 2014-04-09] Dostupné z: http://www.lafarge.cz/2013_01.pdf
- [13] TRS, M. *Energetické piloty aplikované do praxe* [online]. 2011 [cit. 2014-04-09] Dostupné z: <http://www.4-construction.com/cz/clanek/energeticke-piloty-aplikovane-do-praxe/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

I_C	stupeň konzistence
I_D	relativní ulehlost
d_{60}	ekvivalentní průměr zrna odpovídající 60% propadu
d_{10}	ekvivalentní průměr zrna odpovídající 10% propadu
γ	objemová tíha zeminy
γ'	efektivní objemová tíha zeminy
φ'	efektivní úhel vnitřního tření
c'	efektivní soudržnost (koheze)
c_u	totální soudržnost
U_{vd}	svislá návrhová únosnost
U_{bd}	návrhová únosnost paty piloty
U_{fd}	návrhová únosnost na plášti piloty
k_1	součinitel, vyjadřující zvětšení únosnosti vlivem délky piloty
A_s	plocha paty piloty
R_d	výpočtová únosnost paty piloty v zeminách
γ_b	součinitel redukující únosnost paty piloty
d	průměr piloty
π	Ludolfovo číslo
N_c, N_b, N_d	součinitelé únosnosti
L	délka piloty
γ_1	průměrná efektivní objemová tíha zeminy podél dříku piloty
h_i	mocnost i-té vrstvy zeminy
γ_2	efektivní objemová tíha zeminy pod patou piloty
γ_s	součinitel redukující plášťovou únosnost piloty
f_{si}	tření na plášti piloty
σ_{xi}	kontaktní napětí v i-té vrstvě
γ_{r1}	součinitel vlivu technologie
γ_{r2}	součinitel vlivu působení základové půdy
k_2	součinitel bočního zemního tlaku na piloty
σ_{ori}	původní geostatické napětí

D_i	vzdálenost od hlavy piloty do poloviny i-té vrstvy
R_{bu}	mezní únosnost
R_{su}	mezní únosnost na plášti piloty
R_{pu}	mezní únosnost paty piloty
m_2	dílčí koeficient vyjadřující vliv plochy dříku
q_{si}	mezní plášťové tření v i-té vrstvě
a, b	regresní koeficienty
β	koeficient přenosu zatížení do paty piloty
R_y	zatížení v hlavě piloty na mezi mobilizace plášťového tření
s_y	velikost sedání odpovídající R_y
q_0	napětí na patě piloty při deformaci odpovídající plné mobilizaci plášťového tření
d_0	průměr piloty v patě
e, f	regresní koeficienty
I	příčinkový koeficient sedání piloty
I_1	základní příčinkový koeficient
R_k	korekční součinitel
K	tuhost
E_s	průměrná velikost sečnového modulu deformace zemin podél dříku piloty
E_{si}	sečnový modul deformace i-té vrstvy zeminy
s	sedání
s_{25}	sedání rovno 25 mm
R_d	únosnost piloty
V_d	extrémní návrhová síla

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3-1: Způsoby namáhání pilot: a) tlak, tah b) ohyb c) vzpěr.....	11
Obr. 3-2: Postup výroby pilot Franki	15
Obr. 3-3: Ukázka rozšířených pat pilot Franki	16
Obr. 3-4: Sklon pilot	18
Obr. 3-5: Tvary dřívků vrtaných pilot.....	18
Obr. 3-6: Označení a názvosloví.....	18
Obr. 3-7: Výroba pilot pažených ocelovými pažnicemi pomocí vrtné hlavy	22
Obr. 3-8: Pole vrtaných pilot – zakládání opěry mostu	26
Obr. 3-9: Provádění CFA pilot.....	28
Obr. 3-10: Mechanizace potřebná k správnému provádění CFA pilot	28
Obr. 4-11: Teploty horniny v závislosti na hloubce a ročním období	30
Obr. 4-12: Příklad objektu založeného na energopilotách.....	31
Obr. 4-13: Meandr, U sonda	32
Obr. 4-14: Armokoš vystrojený potrubím	32
Obr. 4-15: Princip tepelného čerpadla země - voda.....	33
Obr. 4-16: Konec potrubí – chránička, označení, zařízení pro tlakovou zkoušku....	34
Obr. 4-17: Tření na plášti v chladicí fázi	37
Obr. 4-18: Montáž potrubí energetických pilot pod AZ Tower.....	41
Obr. 4-19: Bytové domy Bubeneč 12, Praha	41
Obr. 5-20: Širší vztahy v okolí staveniště	43
Obr. 5-21: Poloha, označení a nadmořská výška vrtů.....	44
Obr. 5-22: Mezní zatěžovací křivka piloty délky 6 m, průměru 630 mm.....	49
Obr. 5-23: Geologický profil pro výpočet v GEO 5	50
Obr. 5-24: Srovnávací výpočet v programu GEO 5.....	51
Obr. 5-25: Geologický profil pro výpočet v GEO 5 (pilota průměru 1200mm).....	54
Obr. 5-26: Výsledky výpočtu v programu GEO 5 (pilota průměru 1200 mm)	55

SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1: Nejčastěji používané průměry varných a spojovatelných pažnic.....	22
Tab. 3-2: Receptura na výrobu 1m ³ jílové pažící suspenze.....	23
Tab. 3-3: Minimální vyztužení železobetonových vrtaných pilot.....	24
Tab. 3-4: Požadavky na zpracovatelnost beton při různých podmínkách betonáže..	25
Tab. 4-5: Tepelné vlastnosti vybraných zemin – ČSN EN ISO 13370.....	36
Tab. 4-6: Specifické odběrové výkony sond na zemní teplo – VDI 4640	36
Tab. 5-7: Parametry zemin	45
Tab. 5-8: Únosné vrstvy	47
Tab. 5-9: Regresní koeficienty a mezní plášťové tření i-té vrstvy.....	48
Tab. 5-10: Vstupní parametry výpočtu v programu GEO 5.....	53

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Púdorys založení objektu

Příloha 2: Pilota 630/6000

Příloha 3: Pilota 1200/8000

Příloha 4: Geologická dokumentace vrtu BI-2

Příloha 5: Geologická dokumentace vrtu BI-3