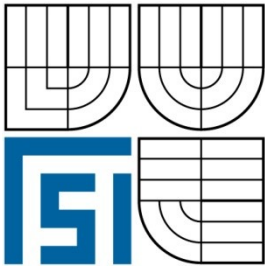


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

REALIZACE ZEMNÍCH VÝMĚNÍKŮ V PODMÍNKÁCH ČR

IMPLEMENTATION OF THE AIR-GROUND HEAT EXCHANGERS IN CONDITION OF THE CZECH
REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TEREZA MACENAUEROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ANTONÍN KOLBÁBEK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav
Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tereza Macenauerová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Realizace zemních výměníků v podmínkách ČR

v anglickém jazyce:

Implementation of the air-ground heat exchangers in condition of the Czech Republic

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zemní výměníky tepla (ZVT) se v současné době navrhují hlavně jako doplněk teplovzdušných vytápěcích a větracích systémů v nízkoenergetických (NED) a pasivních (PD) domech. Zde umožňují přehřev větracího vzduchu v zimě, resp. jeho předchlazení v létě. Zimní přehřev v tomto případě slouží také jako protimrazová ochrana rekuperačního výměníku větrací jednotky. Místo klasického ZVT s přímým ohřevem vzduchu je z hygienických důvodů stále častěji preferován ZVT s nepřímým ohřevem vzduchu, např. solankový.

Počet domů s komfortním větráním v kategorii NED a PD je zatím oproti klasické výstavbě nízký. Přesto zájem o ně nyní roste a do budoucna se předpokládá další postupný nárůst. Jedná se totiž o nemalou investici a další nárůst investičních nákladů, např. díky zemnímu výměníku tepla, je nutno předem důkladně rozmyslet a následně zvážit i výhodnost navíc vložených prostředků. Při rozhodování mohou potenciálním investorům významně pomoci informace o již realizovaných projektech.

Cíle bakalářské práce:

Shromážděte dostupné informace o realizovaných aplikacích zemních výměníků tepla (s přímým i nepřímým ohřevem) v bytové nebo občanské výstavbě či průmyslu. Uveďte nejčastěji používaná uspořádání ZVT (klasický, cirkulační a kapalinový typ), dále jednotlivé používané komponenty a materiály potrubí výměníku. Tam, kde to získané údaje umožňují, posuďte jejich energetickou a ekonomickou výhodnost. Formulujte závěry a doporučení pro jejich využití v této oblasti.

Seznam odborné literatury:

<http://www.pasivnidomy.cz/domy/>

<http://www.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-a-pasivni-domy>

<http://www.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu>

Internetové, časopisecké a jiné zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Antonín Kolbábek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 21.11.2012



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Tato práce mapuje realizace zemních výměníků tepla pro vzduchotechnické systémy budov na území České republiky, především pak v oblasti jižní Moravy. Cílem bylo shromáždit základní informace o konkrétních zařízeních – jako je typ výměníku, použitý materiál potrubí, způsob nasávání (filtrace), řešení odvodu kondenzátu, atp. Toto jsou parametry, které může případný investor před realizací sám ovlivnit, a proto je třeba důkladně zvážit, jaká konfigurace bude pro danou lokalitu nejvhodnější. Výkon zařízení je totiž závislý i na parametrech, které investor ovlivnit nemůže (např. typ zeminy, dispozice pozemku, okolní klima). Práce vychází z dotazníkové studie z r. 2012, provedené v rámci juniorského projektu FSI-J-12-24, která byla řešena přímo s konkrétními vlastníky již realizovaných zařízení. Nemalá část zemních výměníků pochází z realizací energeticky úsporných domů firmy KARON s.r.o., kdy základní parametry zařízení poskytl její jednatel Ing. Stanislav Karásek. Další zařízení byla dohledána v databázi pasivních domů v České republice – spravované Centrem pasivního domu v Brně. Práce shrnuje některé poznatky majitelů ohledně jejich zemních výměníků, ukazuje nejčastěji používané typy a hodnotí důležitost správného návrhu celého zařízení.

ABSTRACT

This work presents the implementation of ground heat exchangers for air-conditioning systems of buildings in the Czech Republic, especially in south Moravia. The purpose is to find basic information about specific devices - such as the type of heat exchanger, material of pipeline, the method of suction (filtration), outlet of condensate, etc. These are parameters that investor can decide before the realization. Exercise equipment is dependent on the parameters that investor can not decide (eg. type of soil, disposition of land, surrounding climate). The work is based on a questionnaire study (part of junior project FSI-J-12-24) from 2012 which was solved with concrete owners of realized devices. A part of the ground heat exchangers comes from the implementation of energy-efficient houses KARON s.r.o. company, the basic parameters of the these exchangers are provided by its managing director Ing. Stanislav Karasek. Other devices have been traced in the database of passive houses in the Czech Republic - managed by the Passive House in Brno. The work summarizes some of knowledge of owners, shows the most often used types and values the importance of proper design of the whole device.

KLÍČOVÁ SLOVA

Výměník tepla, zemní vzduchový výměník tepla, teplovzdušné vytápění, energeticky pasivní dům, nízkoenergetický dům, zpětné získávání tepla, rekuperace tepla.

KEYWORDS

Heat exchanger, air-ground heat exchanger, warm-air heating, passive house, low-energy house, heat recovery.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACENAUEROVÁ, Tereza. *Realizace zemních výměníků v podmínkách ČR: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 33 s. Vedoucí práce Ing. Antonín Kolbábek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Realizace zemních výměníků v podmínkách ČR vypracovala samostatně s použitím odborné literatury, uvedené v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24. května 2013

podpis

.....

Tereza Macenauerová

PODĚKOVÁNÍ

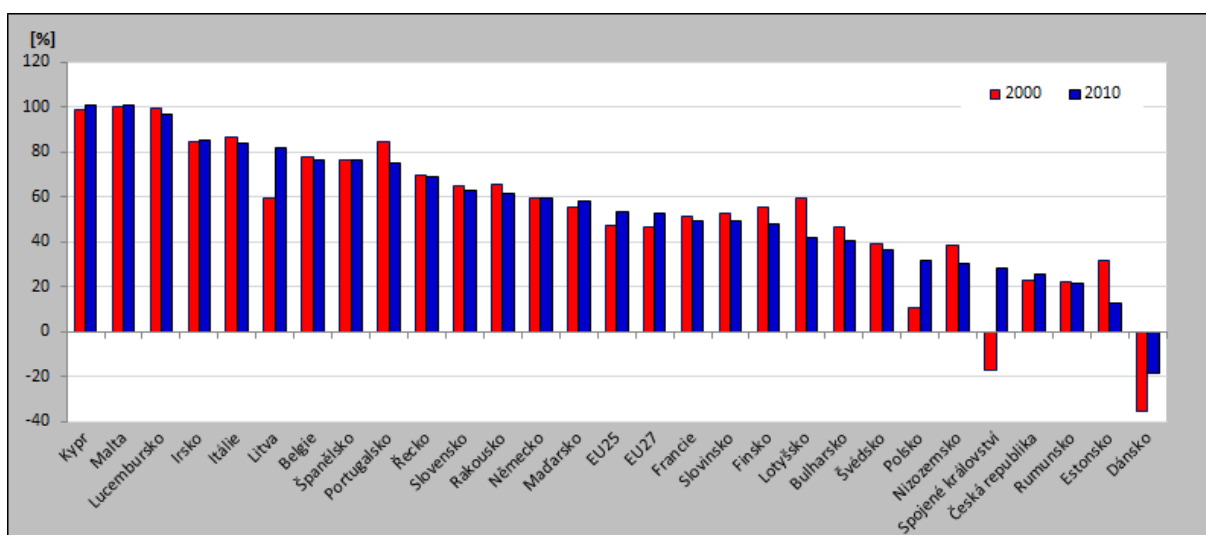
V první řadě bych chtěla poděkovat vedoucímu své práce Ing. Antonínu Kolbábkovi za trpělivost, cenné rady a věcné připomínky. Dále také děkuji panu Ing. Stanislavu Karáskovi, který investoval svůj čas, aby mi předal informace o výměnících realizovaných firmou KARON, s.r.o. Mé díky patří také všem, kteří poskytli kontakty na majitele realizovaných zařízení. V neposlední řadě taktéž majitelům zemních výměníků za vyplnění dotazníku.

Obsah

1	Úvod.....	13
2	Zemní výměníky tepla.....	15
2.1	Vzduchový typ	15
2.1.1	Potrubí	16
2.1.2	Nasávání a filtrace vzduchu	17
2.1.3	Odvod kondenzátu.....	18
2.2	Kapalinový typ.....	19
3	Dotazníková studie	20
4	Realizace zemních výměníků tepla v ČR.....	22
4.1	Vzduchové zemní výměníky	22
4.1.1	Experimentální zemní výměník tepla FSI VUT v Brně	26
4.2	Kapalinové zemní výměníky	27
5	Diskuze.....	28
6	Závěr	30
7	Seznam použité literatury	32

1 Úvod

Jedním z největších spotřebitelů energie je provoz budov – bytových a nebytových prostor. Vytápění, osvětlení a chlazení spotřebuje ve vyspělých státech cca 40% veškeré spotřebované energie [1]. Podstatná část světových zemí je závislá na dovozu energie (graf 1) – v EU je to dnes cca 50 % veškeré spotřebované energie [2]. Evropská unie se proto postupně snaží prosazovat opatření, která by měla vést k efektivní výrobě a využívání energie, produkované převážně z obnovitelných zdrojů (OZE). V květnu r. 2010 schválil Evropský parlament a Rada přepracovanou směrnici 2010/31/EU o energetické náročnosti budov [3], podle které by měly být do konce r. 2020 všechny nově postavené domy budovami s téměř nulovou spotřebou energie. I přes tato opatření se však v budoucnu předpokládá nárůst spotřeby elektrické energie. Cílem je tento nárůst minimalizovat a nové objekty stavět dostatečně tepelně izolované a vybavené řídicími systémy, které zabrání zbytečnému plýtvání energie a zajistí tak její hospodárné a efektivní využití.



Graf 1: Energetická závislost Evropy [%] – mezinárodní srovnání, převzato z [11].

Nejen kvůli přijatým evropským nařízením se dnes lidé postupně začínají zajímat o výstavbu energeticky úsporných domů, nízkoenergetických (NED) a pasivních (EPD). Díky výrazně nižším nákladům na jejich provoz, spolu s každoročním zdražováním všech energií a služeb se tento druh stavitelství stává již nyní ekonomicky výhodný. Kvalitní tepelná izolace a efektivní nucená ventilace umožňuje v těchto domech upustit od klasického systému vytápění a využít např. teplovzdušného vytápění, zajišťující i komfortní řízené větrání celého objektu [4]. Je také žádoucí, aby spotřeba energie na chlazení byla co nejnižší. Řízené větrání se zpětným získáváním tepla je nutnou součástí budov s téměř nulovou spotřebou energie, tj. i energeticky pasivních domů. Je snaha zabránit neřízenému větrání v podobě infiltrace či otevřených oken, především v zimním období tak uniká nejvíce tepla. Větrací zařízení zajišťuje požadovaný stálý průtok i kvalitu větracího vzduchu, chod jednotky je většinou řízen pomocí čidel (např. teploty, koncentrace CO₂, relativní vlhkosti). Ve větrací jednotce se nachází také výměník zpětného získávání tepla (ZZT), který zajišťuje snížení energetické ztráty větráním [5]. Pro udržení tepelného komfortu při nízké spotřebě energie je důležitý výběr klimatizačního systému. Existuje několik typů chlazení: kompresorové, sorpční, nízkoenergetické (např. noční provětrání) a adiabatické. Pro chlazení lze také využít spodní vody, vodní toky nebo zemský polomasiv – tzn. zemní výměníky tepla (ZVT).

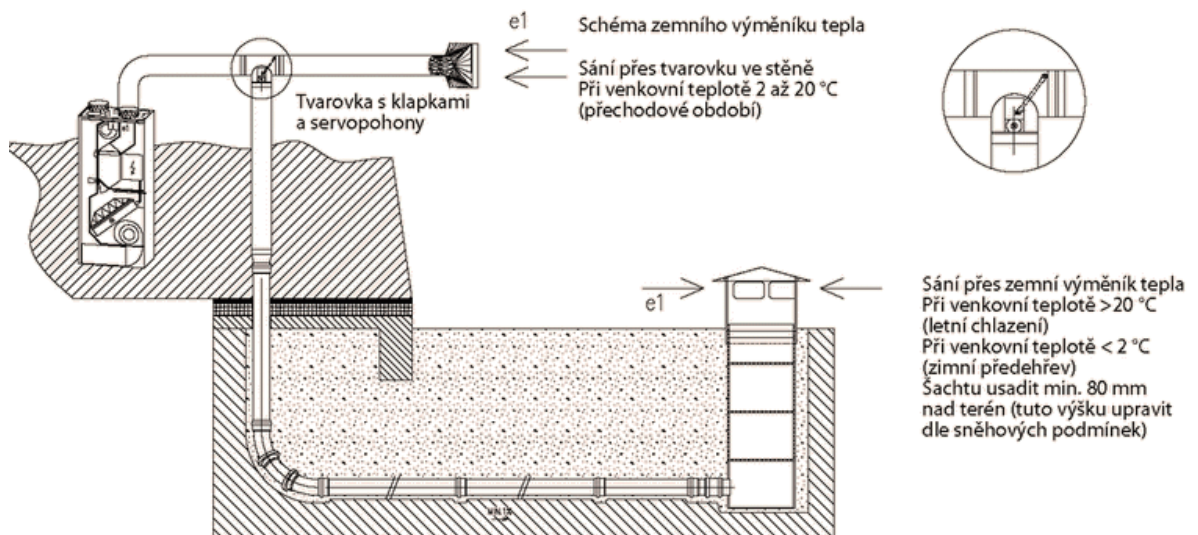
Zemní tepelné výměníky se využívají k predehřevu, nebo předchlazení vzduchu pro teplovzdušné vytápěcí a větrací systémy, a to bez nároku na vysokou spotřebu elektrické energie. V současnosti je stále vyšší zájem o výstavbu NED a EPD, kde se právě naskýtá možnost využití zemních výměníků. Z tohoto důvodu se předkládaná práce zabývá právě ZVT, určenými pro vzduchotechnické systémy rodinných domů (RD). Zaměřuje se zejména na vzduchové typy, ty jsou dnes rozšířenější než kapalinové, které budou představeny jen krátce. Cílem práce je shromáždit dostupné informace o již realizovaných, úspěšných i neúspěšných projektech, a případně tak pomoci při rozhodování o výstavbě dalších podobných zařízení. Práce je převážně zpracována na základě dotazníkové studie z r. 2012, která byla prováděna v rámci řešení juniorského projektu FSI-J-12-24 „*Zemní výměník tepla jako zdroj možného mikrobiologického znečištění vnitřního prostředí budovy*“ v oblasti Jižní Moravy. Další část informací o již provozovaných zařízeních poskytl pan Ing. Stanislav Karásek, jednatel firmy, která po celé ČR realizovala několik desítek ZVT.

2 Zemní výměníky tepla

Zemní výměníky tepla, určené pro vzduchotechnické systémy budov, zajišťují přehřev nebo předchlazení větracího vzduchu, čímž snižují celkovou potřebu tepla nebo chladu. Při velmi nízkých teplotách venkovního vzduchu dochází v rekuperačním deskovém výměníku VZT jednotky k namrzání kondenzátu z odváděného vzduchu – činnost zařízení je tak omezena (snížení účinnosti ZZT), v nejhorším případě může dojít až k poškození tepelného výměníku. ZVT zde pak slouží jako účinná protimrazová ochrana (PMO) tohoto rekuperačního výměníku. Zemní výměník tepla je potrubní systém, který je většinou uložen 1,5 až 2,5 m pod zemí [6]. V této hloubce se místní změny klimatu projevují jen minimálně a výměník tak může plnit svou hlavní funkci PMO. S rostoucí hloubkou se teplota v zemi zvyšuje, proto by bylo vhodné umístit ZVT co nejhlouběji pod povrchem, avšak výkopové práce jsou pak neúměrně vysoké a vložená investice je za hranici návratnosti. Systémy ZVT lze rozdělit podle teplotnosného média na vzduchové nebo kapalinové – běžně nazývané také „solankové“. Teplotnosné médium, procházející potrubím, se dle aktuálních podmínek po délce postupně ochlazuje v létě nebo naopak ohřívá v zimě.

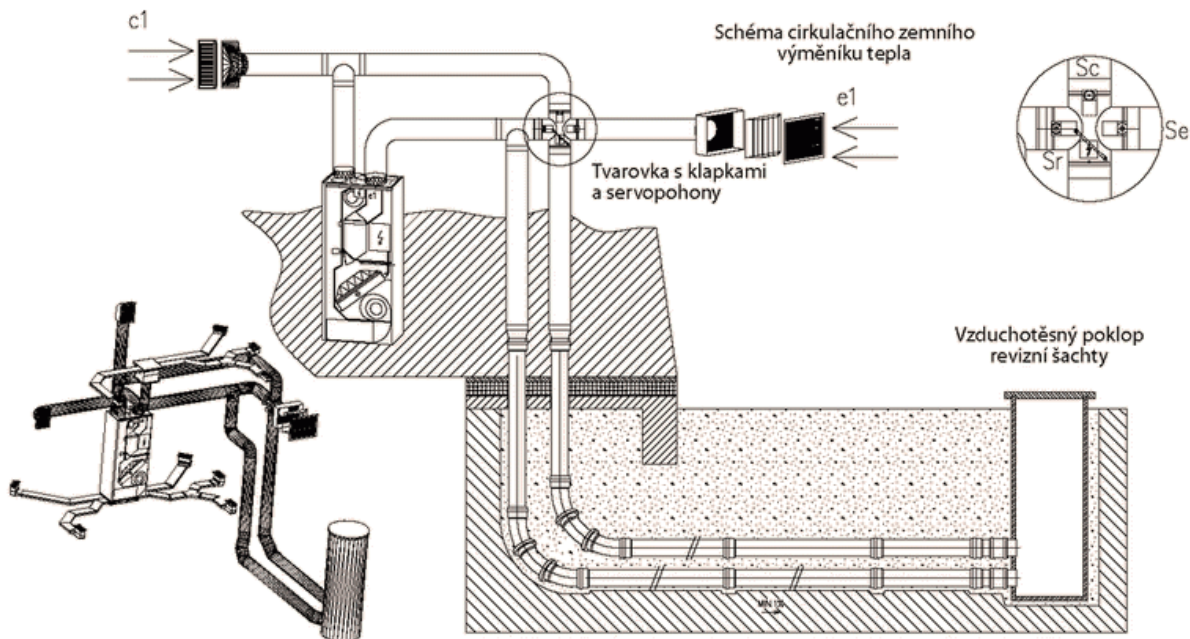
2.1 Vzduchový typ

Zemní výměníky vzduchové se navrhují obvykle v minimální délce 20 m [7] – delší potrubí už nemá na výkon výměníku zásadní vliv, v běžné praxi se však vyskytují i výměníky cca dvojnásobné délky. Vzduchové ZVT mohou být v přímém provedení, jedno či více-trubkové, (obr. 1) nebo v provedení cirkulačním, potrubí nad či vedle sebe (obr. 2).



Obr. 1: Přímý typ ZVT (otevřený systém), převzato z [7].

U cirkulačních ZVT je oproti klasickému otevřenému systému výkop poloviční délky, může se tak ušetřit část nákladů na výkopové práce. V letním období tím lze zajistit i částečné chlazení budovy (nutností je vyřešení stínění oken), průchodem interiérového vzduchu přes zemní smyčku (tzv. cirkulační chlazení).



Obr. 2: Cirkulační typ ZVT (uzavřený systém), převzato z [7].

Při použití vzduchového ZVT není potřeba oběhové čerpadlo a další topenářské komponenty, energetický zisk je tak vyšší než u typu „solankového“. Větrací vzduch prochází přímo potrubím, při letním chlazení dochází za určitých klimatických podmínek ke kondenzaci, z toho plyne i možné riziko mikrobiologického znečištění (řešeno v rámci zmíněného projektu FSI-J-12-24). Tvorba kondenzátu v potrubí může za jistých okolností způsobovat množení bakterií, proto se potrubí musí pokládat ve spádu, aby bylo možné kondenzát v nejnižším místě odvádět. Je velmi důležité, aby potrubí bylo dokonale těsné po celou dobu své životnosti. Kdyby tomu tak nebylo, mohou být plyny z půdy (např. radon) či spodní voda nasávány přímo do potrubního, větracího, systému a následně tak i do obytných místností. V nasávacím místě je též nutné instalovat účinné filtry – většinou řešeno jako dvoustupňová filtrace.

2.1.1 Potrubí

Teplotu výstupního, větracího, vzduchu ze ZVT nejvíce ovlivňují geometrické parametry (DN, L, H), aktuální klimatické podmínky a vlastnosti zeminy (viz tab. 1), která ho obklopuje (resp. její aktuální teplotní rozvrstvení). V menší míře pak použitý materiál potrubí (tj. tepelná vodivost) [9, 25]. Samotný druh okolní zeminy nelze volit, proto je nutné přihlížet k vlastnostem půdy na pozemku a zvážit vhodnost realizace zemního výměníku v místních podmínkách. Naprosto nevhodné je obsypat potrubí pískem nebo drtí, nejvhodnější jsou jílovité soudržné zeminy. Příznivě také působí vyšší vlhkost půdy nebo přítomnost spodní vody (nutné však zvolit vhodné potrubí – dokonale těsné). Způsob uložení potrubí bývá volen tak, aby nedocházelo k vysokým tlakovým ztrátám, tzn. vést potrubí přímo, s co nejmenším počtem lomů. Rychlost vzduchu proudícího potrubím by se měla pohybovat okolo 3 m/s [9], pro dosažení co nejlepší výstupní teploty.

Tab. 1: Ovlivňující vlastnost zeminy, převzato z [9]

Ovlivňující faktor zemina/klima	Přenos tepla ze zemního výměníku
Vysoká hustota zeminy	↑
Dobré zhutnění zeminy	↑
Vysoký podíl jílu/hlíny	↑
Vysoká vlhkost zeminy	↑
Povrchová voda – průsak přes zemní výměník	↑
Vysoká hladina spodní vody	↑
Vysoký přenos slunečního tepla (na podzim) do zeminy	↑
Krátká perioda období chladu (tepla)	↑

Nejčastěji používaným potrubím pro zemní vzduchové výměníky je kanalizační potrubí z PVC (např. KG PVC Systém fy OSMA [18]), v porovnání se specializovaným potrubím je to levná a dostupná varianta. Dalšími použitelnými materiály jsou polypropylen (např. KG 2000 fy OSMA [18]), polyetylen (např. ED Geoflex fy ELEKTRODESIGN [19] či Hekatherm-EWT fy HEGLER [20]), beton, litina, aj. Ne všechny typy potrubí ale splňují požadavky na nenasákavost a snadnou čistitelnost. Na trhu je dostupné také potrubí určené přímo pro aplikaci systému ZVT (AWADUKT Thermo fy REHAU [14]).

Jedním ze sledovaných parametrů potrubí je jeho tepelná vodivost. Stěna trubky je relativně tenká, a tak tepelná vodivost nehraje až tak zásadní roli. I přes to je snaha se vyhýbat potrubím s pěnovým jádrem, vysokými izolačními schopnostmi a tím nízkou tepelnou vodivostí. Součinitel přestupu tepla je hlavním parametrem materiálu potrubí. Velký vliv na něj má drsnost materiálu potrubí, která způsobuje turbulence ve vzduchu proudícím použitým potrubím, a tím usnadňuje přestup tepla z potrubí do vzduchu. Zvýšená vlnitost a drsnost povrchu ale znamená i vyšší provozní náklady z důvodu pokrytí tlakových ztrát, jež způsobuje. Proto je snaha najít určitý kompromis, kdy vlnitý povrch bude napomáhat přestupu tepla, ale nebude způsobovat ztráty tlaku a bránit tak proudění. Průměry potrubí se nejčastěji pohybují od 50 do 200 mm [9] – dle objemu proudícího vzduchu. V potrubí větších průměrů se vytvoří velké jádro proudu, které se nepodílí na výměně tepla na stěně trubky. Naopak malé průměry zase zmenšují plochu, na které může výměna probíhat, a také zkracují dobu, po kterou vzduch setrvává v potrubí.

2.1.2 Nasávání a filtrace vzduchu

Při přechodném období, tj. teplotě 2 až 20 °C [9], lze sání vzduchu realizovat přímo přes obvodovou stěnu domu, vzduch pak neprochází trubkou zemního výměníku, ale pokračuje přímo do vzduchotechnické jednotky. V letním období, při teplotě venkovního vzduchu přesahující 20 °C nebo v období zimním s teplotou vzduchu pod 2 °C, je nasávání realizováno komponenty zemního výměníku – věž, šachta nebo box (obr. 3). Šachtu, často využívanou pro nasávání vzduchu do zemního výměníku, je vhodné usadit minimálně 80 mm nad terén [7]. Tuto výšku je ale ještě nutno upravit dle místních sněhových podmínek. Nedoporučuje se instalovat nasávání do míst vzniku pachů, jako je kompost, kanalizace apod., ale na místa se sušším vzduchem dobře přístupná pro kontrolu, čištění a výměnu filtru. Vstupní šachta bývá obvykle z polypropylenu (PP) s doporučeným průměrem

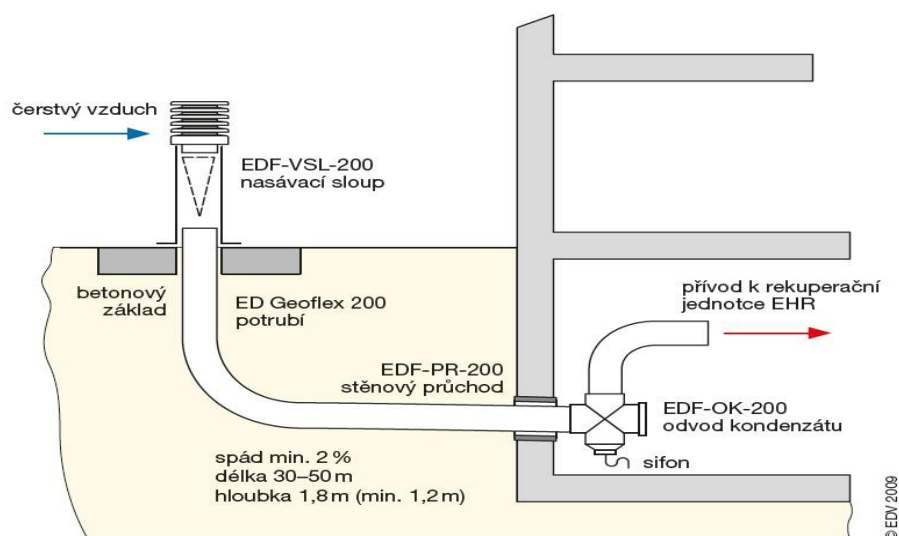
min. 800 mm, z důvodu snadného přístupu osob na dno šachty při čištění. Proti vnikání vody, příp. sněhu, chrání šachtu stříška s přesahem. Plastová vstupní síťka slouží jako hrubá filtrace (první stupeň), filtrace jemnějších částic je zajištěna výměnnou filtrační tkaninou (druhý stupeň) – do zemního výměníku tak vniká vzduch bez nežádoucích prvků, jako je hmyz, listí a hrubý prach. Filtrační tkaninu je doporučeno měnit dvakrát ročně, optimálně na jaře a na podzim.



Obr. 3: Nasávací komponenty určené pro ZVT – věž [14], šachta [7] a box [13].

2.1.3 Odvod kondenzátu

Jak už bylo zmíněno dříve, v potrubí vzduchového výměníku dochází za určitých podmínek ke tvorbě kondenzátu, ve kterém se mohou množit různé mikroorganismy a znečišťovat tak přiváděný větrací vzduch. Také případný hnilobný zápach by byl pro uživatele domu velmi nepříjemný. K odvodu kondenzátu slouží sifon (viz obr. 4), případně sběrná šachta v nejnižším bodě potrubí, které je položeno v zemi se spádem cca 2 % [10]. Kondenzát je možno odvádět přímo do kanalizace, nebo jej v průběhu roku několikrát odčerpat. V praxi se můžeme setkat i s odváděním kondenzátu pomocí vsakovacího štěrkového lože, které se nachází v kontrolní šachtě bez pevného dna. Tento způsob ale sebou přináší vysoké riziko průsaku spodní vody (na jaře při tání sněhu), půdních plynů a jiných nečistot do potrubí.

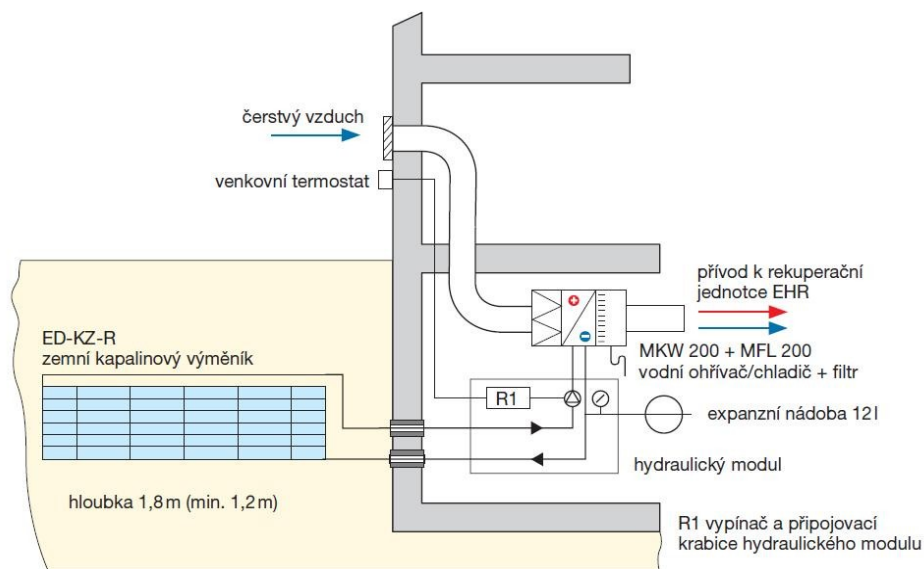


Obr. 4: Odvod kondenzátu pomocí sifonu [15]

2.2 Kapalinový typ

Kapalinové zemní výměníky (obr. 5) zde budou představeny jen krátce. V České republice výrazně převažuje množství realizací vzduchového typu ZVT, v současné době se ale stále více začínají prosazovat i ty kapalinové – děje se tak hlavně z důvodu menšího hygienického rizika. V potrubí výměníku nedochází ke tvorbě kondenzátu, ten vzniká pouze na omezené ploše kompaktního výměníku tepla, tím pádem zde dochází k množení škodlivých bakterií v menší míře.

Pro provoz systému je potřeba ještě dalšího příslušenství, tím se zvyšují pořizovací i provozní náklady „solankového“ ZVT. Prvky nutné pro funkčnost zařízení jsou oběhové čerpadlo (včetně regulace), expanzní nádoba, pojišťovací, regulační a odvzdušňovací ventily, uzavírací kohouty a měřidla teploty a tlaku [12]. Nemrznoucí kapalinu (teplonosné médium) je nutno měnit po několika letech provozu (obvykle 6 až 8 let). Jako náplň do tohoto typu výměníku může být použit Glykosol N, GEROfrost či jiné nemrznoucí kapaliny. Provozní náklady šetří kvalitní regulace, která dle potřeby spíná čerpadlo. Potrubí se většinou navrhuje v délce 0,5 násobku objemu nasávaného vzduchu [8]. V systému musí být umístěn také kompaktní výměník nemrznoucí kapalina-vzduch.



Obr. 5: Systém kapalinového ZVT, převzato z [16]

3 Dotazníková studie

V roce 2012 byl na FSI VUT v Brně řešen projekt FSI-J-12-24 „Zemní výměník tepla jako zdroj možného mikrobiologického znečištění vnitřního prostředí budovy“, převážně se jednalo o monitoring zařízení v oblasti jižní Moravy. V rámci tohoto juniorského projektu, zabývajícího se hlavně hygienickou otázkou ZVT, byla provedena i dotazníková studie, jež monitoruje základní parametry výměníků a sleduje spokojenost majitelů s daným zařízením (tab. 2). Na základě této studie jsou tak čerpány i některé informace do předkládané bakalářské práce.

Tab. 2: Vzor dotazníku ze studie [22]

1) Ev. č. ZVT:	5 (4. 10. 2012)
2) Typ výměníku (klasický, ZVT-c, ZVT-k):	Klasický (ale cirkulační provoz jednotky)
3) Lokalita/adresa:	Brno – Bystrc
4) Okolní podmínky (nějaký zdroj znečištění?):	Prašnost = prach ze svahu, pyl, chmýří ze stromu Nasávací box vedle domu
5) rok/měsíc realizace (uvedení do provozu):	6/2011
6) proč jste se rozhodly pro ZVT (en. úspora, protimrazová ochrana ZZT, letní chlazení, ...):	Energetické úspory – projektant doporučil (ing. Kubíček) VZT jednotka – Paul DC 370 Santos
7) přibližná cena? (cca Kč, doporučujete ZVT?):	??? (zlepšení kvality vnitřního prostředí – návratnost neřešena) ANO – majitel doporučuje
8) schéma (potrubní trasa)	Viz zadní strana dotazníku
9) dimenze (L, DN, H):	DN 200 (5 m kusy), cca 25 m, nad 2 m
10) okolní zemina:	přirozený jíl
11) větrací režim (provozní podmínky - m ³ /h):	MIN (1), NORM (2), MAX (3) – dle větracího režimu - bez obsazení - běžný provoz - párty
12) interval nasávání do výměníku, resp. z fasády:	Pouze přes ZVT
13) mat. potrubí (výrobce):	KG PVC Systém
14) kontrolní šachta	ANO – plastová (DN 200),
15) filtry (typ/výrobce, nasávací šachta, fasáda) + frekvence výměny (poslední výměna):	PAUL G4 na vstupu + ve VZT jednotce 1x výměna + vysávání
16) způsob čištění ZVT (frekvence, poslední čištění):	Zatím nečištěno počítáno s čištěním – lanko s molitanem
17) zatékání vody + odvod kondenzátu:	Nepozorováno (jen kondenzát) PMO – Santos má vlastní ochranu ZZT – málo kondenzátu (odvod do kanalizace)

Základní informace o několika dalších zařízeních realizovaných na území České republiky poskytl v emailové korespondenci také pan Ing. Stanislav Karásek [23]. Další data zahrnutá do vyhodnocení používaných výměníků v ČR pocházejí z databáze pasivních domů [24], kterou zveřejňuje a spravuje na svých webových stránkách sdružení Centrum pasivního domu se sídlem v Brně. Tyto informace ale nebyly ověřovány přímo u majitelů ZVT, proto nesmí být považovány za zcela aktuální. Nicméně pro tuto práci jsou takto obecné parametry postačující.

4 Realizace zemních výměníků tepla v ČR

4.1 Vzduchové zemní výměníky

Pan Ing. Stanislav Karásek poskytl informace o několika vzduchových výměnících, které byly instalovány do roku 2012 a jsou v již provozu (viz tab. 3). Ve dvaceti šesti případech se jednalo o výstavbu pro novou dřevostavbu, ve dvou případech o instalaci výměníku v rámci rekonstrukce již postaveného a obydleného objektu. Ceny zemních výměníků tepla byly započítány v celkové stavbě, proto je není možno uvést samostatně. Všechna zařízení jsou uzpůsobena pro tlakové čištění, odvod kondenzátu je realizován odčerpáváním. Potrubí je uloženo v hloubce 2 m v jílovité půdě, jen v několika případech je podloží písčité, případně hlinitopísčité. U všech zařízení je použito kanalizační KG potrubí, u jednoho výměníku je materiálem polyvinylchlorid, u ostatních je to polypropylen. Potrubní trasa je dlouhá 22 m se jmenovitou světlostí potrubí 200 mm. Nejčastěji používanými filtry jsou G4-Rehau, výjimečně pak Paul.

Tab. 3: Parametry ZVT získané od Ing. S. Karáska [23]

Město (kraj)	Typ okolní zeminy	Délka potrubní trasy [m]	DN [mm]	Materiál potrubí	Hloubka uložení [m]	Filtr
Lednice (Jihomoravský)	hlinitopísčité	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Myslejovice (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Křenůvky (Olomoucký)	jílovitá (spodní voda)	22	200	KG PP	2	Paul
Prostějovičky (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Prostějovičky (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Prostějov (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Olšany (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Štarnov (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Bělkovice (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Chomutov (Olomoucký)	stěrkopísčité	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Litovel (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Mohelnice (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Pavlov-Veselí (Olomoucký)	hlinitopísčité	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Polanka nad Odrou –Beryl (Moravskoslezský)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau

Město (kraj)	Typ okolní zeminy	Délka potrubní trasy [m]	DN [mm]	Materiál potrubí	Hloubka uložení [m]	Filtr
Polanka nad Odrou – Achát (Moravskoslezský)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Rokytnice v Orlických horách (Královéhradecký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Hradištko (Středočeský)	skála (obetonování)	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Uhříněves (Praha)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Čtyřkoly (Středočeský)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Český Brod (Středočeský)	písčitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Svobodné Dvory (Královéhradecký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Lochetnice (Královéhradecký)	jílovitá (spodní voda)	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Šumperk (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Petřkovice (Moravskoslezský)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Dubicko (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	Šachta Atrea
Hlinsko (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Tři Studně (Vysočina)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Bukovany (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Kostelec na Hané (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Výšovice (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Ondratice (Olomoucký)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau
Pístovice (Jihomoravský)	jílovitá	22	200	KG PP	2	G4-Rehau

Databáze pasivních domů [24] ukazuje, že v České republice se větší zájem o zemní výměníky tepla (jako doplněk k větracímu zařízení rodinných domů) začal projevat v roce 2007 (tab. 4). Většina již realizovaných projektů je vzduchového typu, pravděpodobně z důvodu nižších pořizovacích i provozních nákladů. Ve většině případů se jedná o nasávání přímé, jen v některých případech je uveden cirkulační typ ZVT. Hloubka uložení je obvykle 2 m, tam kde je uvedeno, se délka potrubní trasy pohybuje v rozmezí 18 až 40 m. Ostatní zjišťované parametry v databázi bohužel nejsou známy, proto zde nejsou vyplněny.

Tab. 4: Parametry vybraných ZVT z databáze PD, zpracováno z [24]

Město (kraj)	Rok realizace	Délka potrubní trasy [m]	DN [mm]	Materiál potrubí	Hloubka uložení [m]
Dubňany (Jihomoravský)	2011	-	-	-	-
Benešov u Boskovic (Jihomoravský kraj)	2007	-	200	KG PP	-
Brno (Jihomoravský)	-	25	200	-	-
Plandry (Vysočina)	2009	26	-	-	-
Černilov (Královéhradecký)	2010	-	-	-	-
Zlatníky - Hodkovice Středočeský kraj	2008	-	-	-	-
Studenec (Vysočina)	2009	-	-	Awadukt Thermo	-
Horažďovice (Plzeňský)	2010	24	-	-	-
Dobřany (Plzeňský)	-	40	-	Awadukt Thermo	-
Sedlčany (Středočeský)	2009	2x18	-	-	-
Kurdějov (Jihomoravský)	-	40	-	-	-
Liberec (Liberecký)	2009	40	200	-	2
Litovel (Olomoucký)	2007	-	200	KG PP	-
Svobodné Dvory (Královéhradecký)	2007	-	200	KG PVC	2
Kosoř (Středočeský)	2009	-	-	-	-
Příbram (Středočeský)	2011	-	-	-	-
Nová Paka (Královéhradecký)	2011	25	-	-	-

Podrobnější informace o realizovaných ZVT byly získány z dotazníků prováděných v rámci řešení projektu FSI-J-12-24 (Tab. 5). K vyhodnocení nejčastějších parametrů zařízení byl poskytnut podrobnější seznam čtyř desítek výměníků a čtrnáct kompletně vyplněných dotazníků [22]. Majitelé ne vždy byli schopni dohledat přesnou cenu zařízení a také ne ve všech případech se podařilo zjistit veškeré dotazované parametry výměníků.

Nejdříve vybudovaný ZVT je z r. 2002, větší množství se začalo realizovat v letech 2007 až 2010. Majitelé uvedli, že se pro ZVT rozhodli na doporučení projektanta, z důvodu energetických úspor a v očekávání lepšího vnitřního prostředí jejich domu. Po zkušenostech s tímto zařízením by jej i oni dále doporučili. Převažují výměníky vzduchové s přímým systémem, nasávání je většinou realizováno na klidnější části zahrady. Součástí vzduchových výměníků je i kontrolní šachta, filtrace probíhá na vstupu, jen ve dvou případech je uvedeno, že filtrace na vstupu není a nachází se pouze ve VZT jednotce [21]. Pro možnost čištění je

v několika výměnících zavedeno lanko s molitanem, v dalších zařízeních je možnost tlakového čištění. Dosud však byly čištěny jen dva z dotazovaných výměníků.

Potrubí je většinou kanalizační z PVC případně PP (výrobce fy OSMA). Budoucí vlastníci mu dávají přednost před specializovaným potrubím, které bylo vyvinuto přímo pro aplikaci se ZVT, a to i přes možné větší riziko tvorby bakterií. Znečištění vnitřního větracího vzduchu však nebylo dosud prokázáno [21], kanalizační potrubí je výrazně levnější a za dodržení určitých podmínek při návrhu a realizaci zcela funkční pro ZVT. Z dotazníků vyplývá, že potrubí se jmenovitou světlostí 200 mm je nejčastěji uloženo v hloubce 1,5 až 2 m pod povrchem. Délka potrubí je různá, odvíjí se od velikosti pozemku, počtu větví potrubí, atp., průměrná hodnota je cca 25 m. Okolní zemina je hlinitá (často jílovitá), případně navážka ze stavby (spraš, hlína).

Tab. 5: Parametry výměníků hodnocených v rámci projektu FSI-J-12-24, upraveno dle [21]

Město (kraj Jihomoravský)	Rok realizace	Typ okolní zeminy	Délka potrubní trasy [m]	DN [mm]	Materiál potrubí	Hloubka uložení [m]	Filtr na vstupu
Brno	2011	Jíl-spraš	35	200	KG PVC	1,3/2,0	G3
Zlín	2002	Jíl-spraš	25	315	KG PVC	1,0-1,5	G4
Zlín	2005	Jíl-spraš	10	200	KG PVC	2,5	Není
Břeclav	2010	Hlinitá	35	200	PE	2,0-2,5	G4
Brno	2011	Jíl	25	200	KG PVC	2	G4
Brno	2009	Jíl-spraš	22	200	KG PVC	2,0-2,2	Není
Křtiny	2010	Břidlice	32	200	KG PVC	0,8-5,5	Není
Popice	2009	Jíl-spraš	35	160	KG PVC	1,1-1,2	G4
Židlochovice	2007	Navážka	21	315	PP Awadukt	2,1	G4
Židlochovice	2007	Navážka	21	315	PP Awadukt	2,1	F7
Židlochovice	2007	Navážka	21	315	PP Awadukt	2,1	G4
Židlochovice	2007	Navážka	21	315	PP Awadukt	2,1	G4
Židlochovice	2006	Navážka	21	315	PP Awadukt	2,1	G4
Břeclav	2010	Hlinitá	35	200	PE	2,0-2,5	G4

Cena zařízení je mnohdy zahrnuta v rámci celého projektu a majitelé ji tak nemohli uvést samostatně. Tam, kde je známa, se pohybuje v rozmezí 25 000,- Kč až 60 000,- Kč. V případě vyšší ceny zařízení byla komplikovanější jeho stavba, např. omezená plocha pozemku, zemní registr tak je meandrový (tzv. had). V jednom případně byl budován až dodatečně k hotové stavbě, což značně zvýšilo i vstupní náklady.

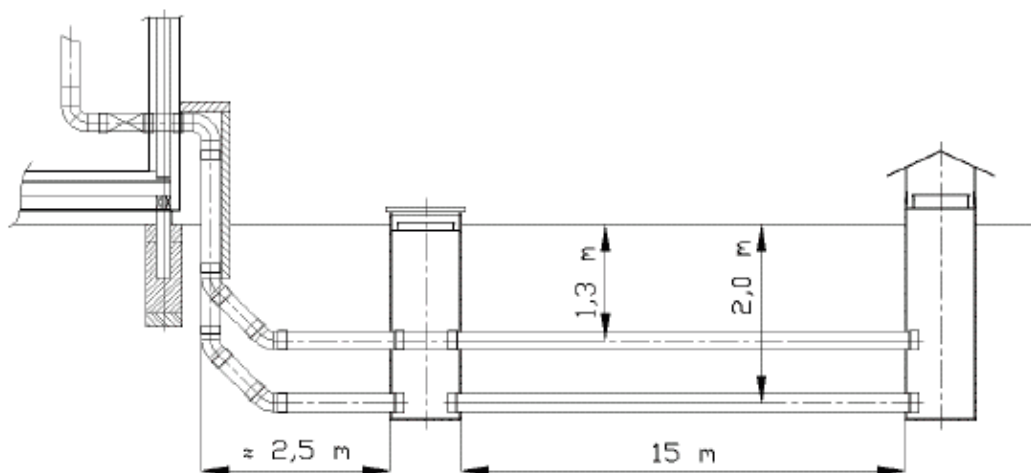
4.1.1 Experimentální zemní výměník tepla FSI VUT v Brně

V rámci projektu FRVŠ 3206/2011/G1 „Zemní výměník tepla jako nový prvek v technice prostředí“ byl v roce 2011 u experimentálního nízkoenergetického domu FSI VUT v Brně vybudován ZVT vzduchového cirkulačního typu [17]. Zařízení slouží při výuce na odboru Termomechaniky a techniky prostředí, je také určeno pro případné investory, jako ukázková realizace. Díky monitoringu provozních parametrů ZVT umožňuje vyhodnotit funkci zařízení jako protimrazové ochrany následujících vzduchotechnických zařízení a úsporu energie při definovaných provozních podmínkách. Ke sběru dat slouží měřící aparatura (4 zemní teplotní sondy, čidla teploty a vlhkosti vzduchu). Základní parametry tohoto výměníku jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6: Základní parametry ZVT FSI VUT v Brně [17]

rok realizace	2011
okolní zemina	sprašovitý jíł
kontrolní šachta	ANO-2x
filtry	ANO (nasávací šachta+fasáda)
délka potrubí	2x15 m + připojení
DN	200 mm
materiál	KG PVC
hloubka uložení	1,3 m; 2,0 m

Výměník byl budován dodatečně k již hotovému NED a v mnohém se odlišuje od běžných ZVT, z tohoto důvodu byly investiční náklady vyšší než je obvyklé. Zemní výměník je uložen v prachovitě písčité jílovité hlíně sprašového typu s pórovitou strukturou, jeho dvě větve potrubí o délce 15 m jsou umístěny nad sebou v hloubce 1,3 m a 2 m (viz Obr. 6).



Obr. 6: Bokorys experimentálního ZVT [17]

Součástí zemního výměníku jsou dvě kontrolní šachty, přes tu vzdálenější je možno realizovat nasávání (přímý větrací režim), potrubí je vypádováno směrem k druhé, kontrolní šachtě, a případný kondenzát je zde shromažďován a měřen. Tento „hybridní“ typ zemního výměníku může fungovat v několika provozních režimech: přímý větrací režim v plné délce, přímý větrací režim v poloviční délce (jedno či dvě paralelní potrubí) a také cirkulační režim chlazení, kdy je vzduch nasáván ve druhém patře objektu (tzv. letní cirkulační chlazení). Podrobnější informace lze nalézt v [17].

4.2 Kapalinové zemní výměníky

Podle informací z databáze pasivních domů [24] se kapalinové zemní výměníky začaly v ČR budovat o něco později než ZVT vzduchové, první „solankový“ výměník ze seznamu pochází z roku 2009. Ve většině případů je délka potrubí 150 m (Tab. 7), orientační vnitřní průměr potrubí je uveden u dvou zařízení DN 32 mm a DN 40 mm. Materiál potrubí, kterým proudí nemrznoucí kapalina je zveřejněn jen u jednoho výměníku (vysokohustotní polyetylen – HDPE). Hloubka uložení není uvedena ani u jednoho z devíti kapalinových ZVT v této veřejné databázi.

Tab. 7: Parametry kapalinových ZVT z databáze PD, zpracováno z [24]

Město (kraj)	Rok realizace	Délka potrubní trasy [m]	DN [mm]	Materiál potrubí
Dubňany (Jihomoravský)	2010	-	-	-
Františkovy Lázně (Karlovarský)	-	150	32	-
Habrovany (Jihomoravský)	-	150	-	-
Hustopeče (Jihomoravský)	2012	-	-	-
Chocerady (Středočeský)	2010	150	-	-
Jenišov (Karlovarský)	2009	90	-	-
Ostrava – Krásné Pole (Moravskoslezský)	2009	-	-	-
Praha 10 (Praha)	2010	-	-	-
Vyškov (Jihomoravský)	2010	150	40	HDPE

5 Diskuze

Nejčastěji používaným typem potrubí je, alespoň dle dohledaných informací, klasické kanalizační potrubí KG z PP nebo PVC o vnitřním průměru 200 mm. Většinou je ZVT uložen v hloubce 2 m pod zemským povrchem. Potrubní trasa ZVT bývá různá, velmi záleží na dispozici daného pozemku. Na vstupu do zemního výměníku tepla by se měla vždy nacházet filtrace, nejpoužívanější je hrubý filtr G4.

Problémy, jež mohou nastat při provozu zemního výměníku tepla, jsou zatékání spodní vody, případně pronikání radonu do nedokonale těsného potrubního systému. Přítomnost radonu ale v souvislosti s instalovaným ZVT doposud monitorována nebyla. Není tak potvrzena jeho zvýšená koncentrace v budově a lze tedy předpokládat, že řízená výměna vzduchu naopak přispívá ke snižování množství radonu v obytných prostorech. Dalším problémem, který se může v souvislosti s potrubním systémem ZVT objevit, je tvorba kondenzátu při letním chlazení. Ten je vhodným prostředím pro vznik plísní a množení mikroorganismů, které mohou zhoršit kvalitu větracího vzduchu. Důležitou roli pro čistý a zdravotně nezávadný přiváděný vzduch hraje vhodný návrh a údržba zařízení. Filtrace na vstupu do zemního výměníku chrání před vnikáním pevných částic, jako jsou pyl, prach a hmyz. Tyto filtry, umístěné na vstupu do ZVT (nasávací věž, šachta, box), je nutno pravidelně měnit, a to minimálně dvakrát ročně. Také celková čistota potrubních cest výměníku je důležitá, čištění je vhodné provádět jedenkrát za rok. Mnoho dotazovaných majitelů uvedlo, že se zatékáním vody do potrubí výměníku nemají problém nebo se jím příliš nezabývají. V několika ZVT se malé množství vody objevuje při příválových deštích nebo na jaře se zvýšením hladiny spodní vody, což značí určitou netěsnost potrubního systému. Jedno zařízení je právě z důvodu zatopení odstaveno z trvalého provozu. Dotazovaní vlastníci zařízení uvedli, že kondenzátu se v trubkách systému ZVT tvoří jen velmi málo. Jeho odvod je nejčastěji řešen pomocí občasného odčerpávání.

Možným mikrobiologickým rizikem vzduchových ZVT se zabýval právě juniorský projekt FSI-J-12-24, kdy na podzim roku 2012 byly odebrány vzorky ve 14 zařízeních [21]. Studie se zabývala vlivem typu potrubí na kvalitu větracího vzduchu. Zkoumáno bylo jak nejlevnější a nejpoužívanější plastové KG potrubí z PVC, korugované PE potrubí a také potrubí s antimikrobiální povrchovou úpravou Awadukt Thermo. Vyhodnocovalo se množství směsné populace plísní nacházejících se v jednotlivých potrubích na výstupu ze zemního výměníku, tj. na vstupu do vzduchotechnické jednotky. Většina zařízení nebyla čištěna a nachází se na okrajích měst, mimo velké zdroje znečištění. Výsledky tohoto výzkumu ukazují, že speciální potrubí Awadukt Thermo se nijak zásadně neliší od kanalizačního plastového potrubí. Je pravděpodobné, že tento výsledek je způsoben nedostatečným čištěním potrubí. Ionty stříbra, které zabraňují vzniku mikrobiologického znečištění, nemohou přes vrstvu nečistot usazených na vnitřním povrchu potrubí plnit svou zásadní funkci. Z těchto výsledků lze prozatím vyvodit závěr, že je mnohem důležitější vhodná filtrace a pravidelná údržba potrubního systému ZVT než materiál, ze kterého je potrubí vyrobeno. V červnu letošního roku budou odebrány vzorky z dalších zemních výměníků tak, aby se rozšířil počet

zkoumaných zařízení. Potom teprve bude možné relevantně vyhodnotit vliv použitého potrubního systému na mikrobiologické znečištění vnitřního prostředí budov.

Zhodnotit ekonomickou výhodnost zemního výměníku tepla z daných údajů není možné. Jedná se o zařízení s velmi dlouhou dobou návratnosti [26], kdy energetické úspory velmi záleží na aktuálních okolních podmínkách. Energetický přínos ZVT je hlavně ve funkci PMO deskového rekuperačního výměníku. Dnes se ale ve vzduchotechnických jednotkách instalují rekuperátory, které využívají tzv. „aktivní rekuperace“, kdy je teplo předáváno pomocí malého tepelného čerpadla. U těchto zařízení k namrzání nedochází a instalace zemního výměníku by tak byla zbytečná a ekonomicky nevýhodná [21].

6 Závěr

Zemní výměníky tepla se začaly v České republice jako doplněk ke vzduchotechnickým zařízením rodinných domů častěji objevovat až v posledním desetiletí, kdy se zvýšil celkový zájem o výstavbu pasivních a nízkoenergetických domů. Zařízení v zimě slouží především jako protimrazová ochrana rekuperační jednotky, v letním období pak předchlazuje větrací vzduch. Častěji se setkáme se vzduchovým typem zemního výměníku tepla, kapalinových výměníků je prozatím jen zlomek z celkového množství dosud realizovaných zařízení. Pravděpodobně za tím stojí nižší pořizovací i provozní náklady v případě vzduchového typu. Je zde ale možné riziko mikrobiálního znečištění vzduchu, přiváděného vzduchotechnickými rozvody do obytných místností. Děje se tak v důsledku tvorby kondenzátu při letním provozu. Majitelé domů, kteří se obávají zhoršení kvality přiváděného vzduchu anebo jsou limitováni prostorem pozemku, se tak stále více přiklánějí k výstavbě výměníků „solankových“.

Hygienickou otázkou vzduchových ZVT v České republice se zabýval juniorský projekt *„Zemní výměník tepla jako zdroj možného mikrobiologického znečištění vnitřního prostředí budovy“*. Bylo zjištěno, že vhodná údržba má na kvalitu větracího vzduchu největší vliv. Při správné instalaci, čištění a pravidelné výměně filtrů by výrazné, zdraví škodlivé, mikrobiologické znečištění nemělo hrozit. Dále se neprokázalo, že při použití speciálního (dražšího) potrubí pro ZVT by byl vzduch, přiváděný do obytných místností, kvalitnější než při použití běžného kanalizačního potrubí. Záleží tak čistě na majiteli, jaký materiál pro potrubní systém zvolí. Pokud se ale na pozemku nachází vysoká hladina spodní vody, je vhodnější zvolit kapalinový typ zemního výměníku tepla. U vzduchového typu totiž hrozí větší pravděpodobnost zatékání vody, což může za určitých podmínek vytvořit prostředí vhodné pro snazší růst mikroorganismů. V neposlední řadě také může dojít k celkovému zatopení potrubního systému a tím k finančnímu znehodnocení realizované investice.

7 Seznam použité literatury

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU. [online]. [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=517732:cs&lang=cs&list=677698:cs,518185:cs,517732:cs,&pos=3&page=1&nbl=3&pgs=10&hwords=&checktext=checkbox&visu=#texte>.
- [2] CZESANÝ, Slavoj. *Výroba, spotřeba a ceny energetických zdrojů* [online]. Aktualizováno: 20.8.2012 [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://www.czso.cz/csu/csu.nsf/informace/cka070809.doc>
- [3] HALUZA, Miroslav, MACHÁČEK, Jan. *Spotřeba elektrické energie domácností, predikce a potenciální úspory pomocí BACS* [online]. Vydáno: 7.5.2012 [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/8570-spotreba-elektricke-energie-domacnosti-predikce-a-potencialni-uspory-pomoci-bac>
- [4] Centrum pasivního domu. *Co je pasivní dům?* [online]. [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/co-je-pasivni-dum.html?chapter=historie>
- [5] ZMRHAL, Vladimír, DRKAL, František. *Větrání a klimatizace budov s téměř nulovou spotřebou energie* [online]. Vydáno: 10.12.2012 [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/9374-vetrani-a-klimatizace-budov-s-temer-nulovou-spotrebou-energie>
- [6] FIRLAG, Szymon, RUCIŃSKA, Joanna. *Zjednodušená metoda návrhu zemního tepelného výměníku* [online]. Vydáno: 7.7.2008 [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4948-zjednodusena-metoda-navrhu-zemniho-tepelneho-vymeniku>
- [7] ATREA. *Zemní výměník tepla*. [online]. Vydáno: 5.3.2009 [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://www.atrea.cz/cz/ke-stazeni-vetrani-a-teplovzduzne-vytapeni-rodinnych-domu-a-bytu>
- [8] HAZUCHA, Juraj. *Větrání a vytápění* [online]. Informační list o EPD, Centrum pasivního domu, Vydáno: 2010 [Citováno 2013_04_20].
- [9] PAPEŽ, Karel, SMUTNÁ, Kristýna. *Energie země a její využití pro předehřev a předchlazení větracího vzduchu* [online]. Vydáno: 12.3.2012 [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/technicke-zarizeni-budov-v-ned-a-epd/8357-energie-zeme-a-jeji-vyuziti-pro-predehrev-a-predchlazeni-vetraciho-vzduchu>
- [10] CHICHMANOV, Ivan. *Zemní kolektor – nový prvek v systémech řízeného větrání budov* [online]. Vydáno: 29.6.2004 [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2047-zemni-kolektor-novy-prvek-v-systemech-rizeneho-vetrani-budov>
- [11] Informační systém statistiky a reportingu. *Issar.cenia.cz* (Výroba elektřiny a tepla – vyhodnocení indikátorů) [online]. Aktualizováno: 21.9.2012 [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1560>
- [12] ATREA. *Solankový zemní výměník tepla* [online]. Vydáno: 3.11.2008 [Citováno 2013_04_20]. Dostupné z: http://www.prima-klima.cz/admin/admin_cont/upload/pages_files/08_03_11_zemni_plosny_kolektor%5B2%5D.pdf

- [13] PAUL. *Nasávací hlavice* [online]. [Citováno 2013_04_20] Dostupné z: <http://www.paul-rekuperace.cz/ebox>
- [14] REHAU. *Awadukt thermo pro rodinné domy* [online]. [Citováno 2013_05_15]. Dostupné z: http://www.rehau.com/CZ_cs/stavebnictvi/Obnovitelne_energie/zemni_tepelny_vymenik_vzduchu/AWADUKT_Thermo_pro_rodinne_domy/?tab=203200
- [15] ELEKTRODESIGN VENTILÁTORY s.r.o. *Zemní kapalinový výměník ED-KZ-R* [online]. [Citováno 2013_05_15]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/product/zemni-kapalinovy-vymenik-ed-kz-r>
- [16] ELEKTRODESIGN VENTILÁTORY s.r.o. *Zemní vzduchový výměník ED geoflex* [online]. [Citováno 2013_05_15]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/product/zemni-vzduchovy-vymenik-ed-geoflex>
- [17] JAROŠ, Michal, KOLBÁBEK, Antonín. *Nový experimentální výměník tepla FSI VUT* [online]. Vydáno: 21.1.2013 [Citováno 2013_05_15]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/9501-novy-experimentalni-vymenik-tepla-fsi-vut>
- [18] OSMA. *KG-systém (PVC)* [online]. [Citováno 2013_05_15]. Dostupné z: <http://www.kanalizacezplastu.cz/clanky/kg-system-pvc/>
- [19] ELEKTRODESIGN VENTILÁTORY s.r.o. *ED flex potrubí* [online]. [Citováno 2013_05_15]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/uplny-sortiment/produktycs/uplny-sortiment/produkty/prislusenstvi-ed-flex-system-ed-plano-system/ed-flex-system/ed-flex-potrubí>
- [20] HEGLER. *Rohre und rohrsysteme* [online]. [Citováno 2013_05_15]. Dostupné z: hegler.de
- [21] KOLBÁBEK, A., JAROŠ, M., MUSIL, Z. *Mikrobiologické riziko zemních vzduchových výměníků tepla-pilotní studie*. In: *Zdravé domy 2013*. Brno: VUT v Brně, 2013. s. 87-96. ISBN: 978-80-214-4737-0.
- [22] Dotazníková studie základních parametrů ZVT, provedená v rámci řešení juniorského projektu FSI-J-12-24. Hlavní řešitel: ing. Antonín Kolbábek.
- [23] Osobní e-mailová komunikace s panem ing. Stanislavem Karáskem z fy KARON, s.r.o.
- [24] Centrum pasivního domu. *Databáze domů* [online]. [Citováno 2013_05_15]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/domy/>
- [25] KOLBÁBEK, A., JAROŠ, M. *Experimentální vzduchový zemní výměník tepla a jeho technické provedení*. In: 31. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky 2012. Mikulov: VUT v Brně, 2012. s. 107-110. ISBN: 978-80-214-4529-1.
- [26] JAROŠ, M., KOLBÁBEK, A. *Energetický a ekonomický přínos zemního výměníku tepla v teplovzdušném vytápěcím systému s rekuperací*. Vytápění, větrání, instalace, 19 (5): 222-228, 2010. ISSN: 1210-1389.