Příloha E

Metodika pro zpracování situačních zpráv

"Využití tepelné energie odpadní vody v kanalizaci"

Číslo projektu: TA03020600

Název projektu: **Získávání tepelné energie z odpadní vody v kanalizačních sítích (enKAN)**

Předkládá:

Název organizace: České vysoké učení technické v Praze

Jméno řešitele: doc. ing. David Stránský, Ph.D.

1 Úvod

Tato metodika vyvinutá v rámci projektu TA03020600 Získávání tepelné energie z odpadní vody v kanalizačních sítích (enKAN) popisuje postup analýzy využití tepelné energie z odpadní vody v kanalizaci tak, aby se mohla stát součástí generelů odvodnění či kanalizace.

2 Obecný metodický postup

Metodika se skládá ze dvou na sebe navazujících kroků. Prvním krokem je **určení teoretického potenciálu**, ve kterém jsou na základě stanovených technických kritérií hodnoceny jednotlivé úseky stok z hlediska jejich využitelnosti pro odběr tepla. Některá z kritérií (resp. jejich limitních hodnot) jsou specifická pro použitý typ tepelného výměníku.

Účelem druhého kroku je **stanovení realizovatelného potenciálu**, kdy jsou vybírány vhodné budovy pro zásobení teplem odebraným z odpadní vody. Výběr opět probíhá na základě kritérií, v tomto případě však nikoliv pouze technických, ale zejména ekonomických.

Potenciál je v obou krocích hodnocen na základě kritérií vhodnosti, pro něž jsou stanoveny limitní hodnoty. Data a podklady potřebné pro kvantifikaci jednotlivých kritérií se týkají zejména stavebních charakteristik stokového systému, charakteristik odtoku odpadní vody, teplot odpadní vody a stavebních a provozních charakteristik objektů, u kterých lze s napojením na teplo z odpadní vody uvažovat. V dalším textu je podrobně rozepsána metodika včetně potřebných datových zdrojů. Lze konstatovat, že většina potřebných dat je dnes běžně k dispozici.

3 Určení teoretického potenciálu využití energie z odpadní vody ve stokové síti

3.1 Kritéria vhodnosti stok

Vhodnost jednotlivých stok pro instalaci výměníků tepla se hodnotí podle níže uvedených kritérií.

<u>Tvar, světlost a materiál stoky</u>

Malý profil stoky může limitovat instalaci některých typů tepelných výměníků, naopak větší profily jsou pro instalaci a provoz výhodnější. Jedná se o kritérium, jehož limitní hodnota je specifická podle typu použitého tepelného výměníku. Pro deskové výměníky jsou zpravidla nevhodné stoky průlezné (DN< 800 mm) a vhodné stoky průchodné (DN>1200 mm). Některé typy materiálů (např. čedič) mohou vylučovat instalaci výměníku.

Možnost umístění paralelních modulů výměníků

Teplený výměník by měl být ponořen pod hladinou vody a zároveň by měl využívat co největší omočený obvod stoky. Proto je nutná určitá minimální hloubka vody v profilu. I toto kritérium je specifické podle typu použitého tepleného výměníku. Nevhodné jsou stoky, kde nelze instalovat žádný modul, vhodné ty, kde je možno instalovat více než jeden modul, pokud je výměník modulární.

Četnost výskytu tlakového proudění ve stoce

Výměníky by neměly být instalovány tam, kde dochází k častému tlakovému proudění ve stoce (s výjimkou zpětného vzdutí). Nevhodná je instalace do stok s četností tlakového proudění > 1 za 2 roky, vhodná tam, kde se tlakové proudění vyskytuje ≤ 1 za 2 roky.

Míra snížení hydraulické kapacity stoky

Instalací tepelných výměníků by neměl být významně snížen průtočný profil stoky. Nepřípustné je snížení průtočného profilu o více než 5%.

Další informace již neslouží ke klasifikaci vhodnosti stok, ale rozhodování o umístění výměníku tepla mohou rovněž ovlivnit:

Teoreticky dostupný výkon

Dává informaci o tom, kolik tepla v daném stokovém úseku je odpadní vodou neseno.

Výskyt sedimentů

Nadměrné množství sedimentů může ovlivnit složitost instalace tepelných výměníků a jejich údržbu, nicméně z hlediska přestupu tepla nemají minerální sedimenty díky poměrně vysoké tepelné vodivosti významný vliv.

Tečné napětí při bezdeštných průtocích

Tečné napětí slouží jako indikátor (i) tvorby sedimentů při vzniku místní ztráty v důsledku instalace tepelného výměníku, (ii) tvorby biofilmu na povrchu výměníku, který potom snížením přestupu tepla ovlivňuje jeho účinnost a zvyšuje nutnou četnost údržby. Čím vyšší je tečné napětí v daném úseku stoky, tím méně sedimentu i biofilmu se bude tvořit. Absolutní hodnoty limitních tečných napětí jsou místně specifické a zejména u biofilmu závisejí i na charakteru odpadní vody. Orientační hodnota tečného napětí, při níž se již netvoří větší množství kohezního sedimentu a biofilmu ve stoce je cca 4 Pa [1].

3.2 Potřebná data a podklady a jejich pořízení

Hodnocení teoretického potenciálu probíhá samostatně pro jednotlivé úseky stokové sítě, proto i dále uvedené podklady musí být k dispozici pro každý stokový úsek hodnocené sítě.

Tvar, světlost a materiál stoky

Data jsou běžně k dispozici v GIS či jiné dokumentaci stokové sítě.

Možnost umístění paralelních modulů výměníků

Nutné jsou informace o typu výměníku (rozměry, způsob instalace), dostupné od výrobce. Dále jsou potřeba informace o minimální denní hloubce vody h_{bezd} při bezdeštném průtoku Q_{bezd}, které se dají zjistit ze simulačního srážko-odtokového modelu stokové sítě, kalibrovaného na bezdeštný stav. U větších lokalit je simulační model běžně k dispozici.

Četnost výskytu tlakového proudění ve stoce

Pro vyhodnocení četnosti tlakového proudění jsou potřeba informace ze simulačního srážko-odtokového modelu stokové sítě, kalibrovaného na odtok dešťových srážek a zatíženého historickou srážkovou řadou. U větších lokalit je simulační model běžně k dispozici.

Míra snížení hydraulické kapacity stoky

K posouzení snížení hydraulické kapacity jsou potřeba informace o profilu stoky a o typu výměníku (jeho rozměry), oboje viz výše.

Teoreticky dostupný tepelný výkon

Teoreticky dostupný výkon W_{teor} (kW) se vypočítá jako:

$$W_{teor} = \rho \,.\, c \,.\, Q_{bezd} \,.\, T_{ov} \qquad (1)$$

kde	ρ	($kg.m^{-3}$)	hustota vody ($\rho = 1$),
	c	($kJ\ kg^{-1}.°C^{-1}$)	tepelné kapacita vody ($c = 4{,}19$),
	Q_{bezd}	($l.s^{-1}$)	bezdeštný průtok,
	T_{ov}	(^{o}C)	teplota odpadní vody.

Teplotu odpadní vody T_{ov} lze získat samostatným monitoringem nebo rozšířením monitoringu pro potřeby generelu odvodnění. Teploty odpadní vody by měly být měřeny minimálně v uzávěrných profilech kmenových stok, případně v detailnějším měřítku (např. jednotlivé větve kmenových stok v případě, že na nich lze očekávat instalaci tepelných výměníků). Pokud se měrné profily pro potřeby měření T_{ov} shodují s monitorovacími profily pro potřeby generelu (zpravidla za účelem kalibrace srážko-odtokového modelu), lze s výhodou využít faktu, že ultrazvukové senzory rychlosti proudění automaticky měří a mohou zaznamenávat teplotu odpadní vody za účelem korekce

primárního měření. Toto měření bývá obvykle méně přesné (± 0,5°C) než speciální teplotní sondy (± 0,1-0,2°C), nicméně při správné kalibraci měření je postačující. Kalibrace teplotních sond (v rámci ultrazvukových sond i speciálních teplotních sond) probíhá tak, že při instalaci měření a pak při každé údržbě měřicího zařízení (zpravidla 1x za 2-3 týdny), je prováděno nezávislé měření laboratorním ponorným teploměrem a data z teplotních sond jsou následně dle tohoto měření opravena.

Teplota odpadní vody se během roku mění (nejnižší hodnoty se zpravidla vyskytují v období únor až březen). Pokud je trvání monitoringu kratší než kalendářní rok, je potřeba zohlednit, ve kterém období byl monitoring prováděn a informace o teplotách brát jako orientační. Odlišný průběh teplot odpadní vody je i mezi jednotlivými roky.

Výskyt sedimentu

Výskyt sedimentu je zpravidla provozovateli znám na základě jeho provozních zkušeností, případně jej lze indikativně získat jednoduchým hydrotechnickým výpočtem tečných napětí za bezdeštného stavu (viz níže).

Tečné napětí při bezdeštných průtocích

Tečné napětí τ (Pa)se vypočítá jako:

$$\tau = \rho \,.\, g \,.\, R \,.\, i \qquad (2)$$

kde	ρ	(kg.m^{-3})	hustota vody (ρ = 1)
	g	(m s^{-2})	gravitační zrychlení (g = 9,81)
	R	(m)	hydraulický poloměr – výpočet z tvaru a světlosti profilu (pořízení viz výše) a h_{bezd} (pořízení viz výše)
	i	(-)	sklon stokového úseku – běžně k dispozici v GIS či jiné dokumentaci stokové sítě

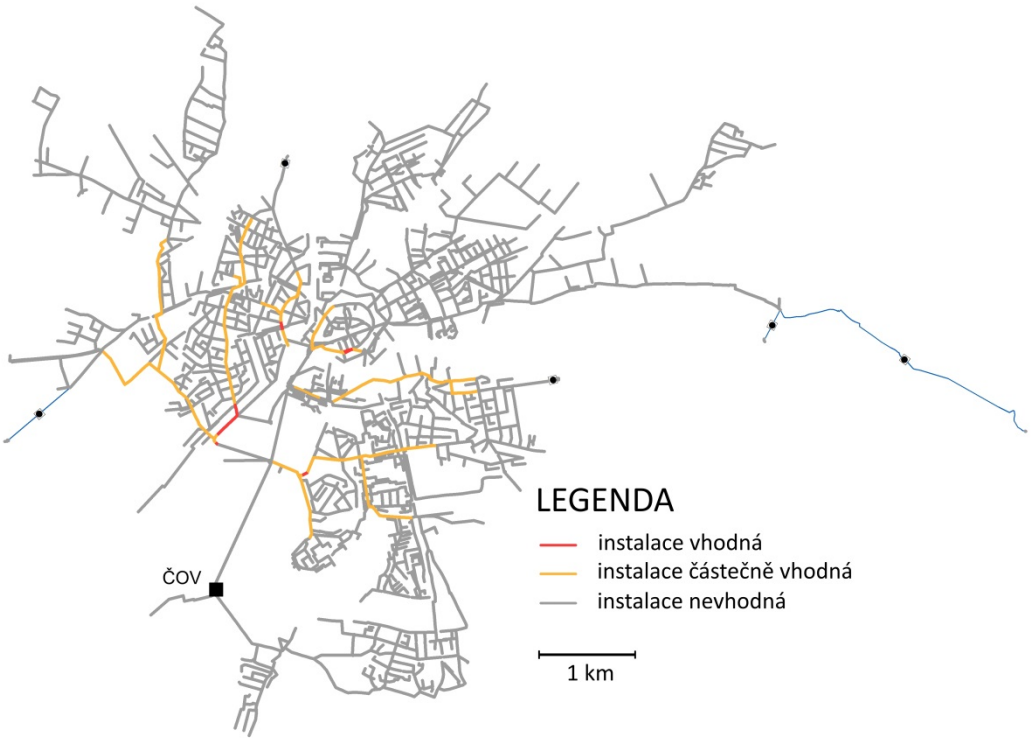
3.3 Vyhodnocení a prezentace výsledků

Klasifikace vhodnosti stok pro instalaci tepelných výměníků podle jednotlivých kritérií probíhá na základě Tab. 1 do tří stupňů (stoka vhodná, částečně vhodná a nevhodná). Celkové vyhodnocení je dáno nejhorší hodnotou jednotlivých kritérií. V dalším vyhodnocení je uvažováno pouze s vhodnými a částečně vhodnými úseky, které na sebe bezprostředně navazují, izolované vhodné a částečně vhodné úseky jsou vyřazeny, protože na instalaci tepelných výměníků je zpravidla potřebný více úseků stokové sítě za sebou.

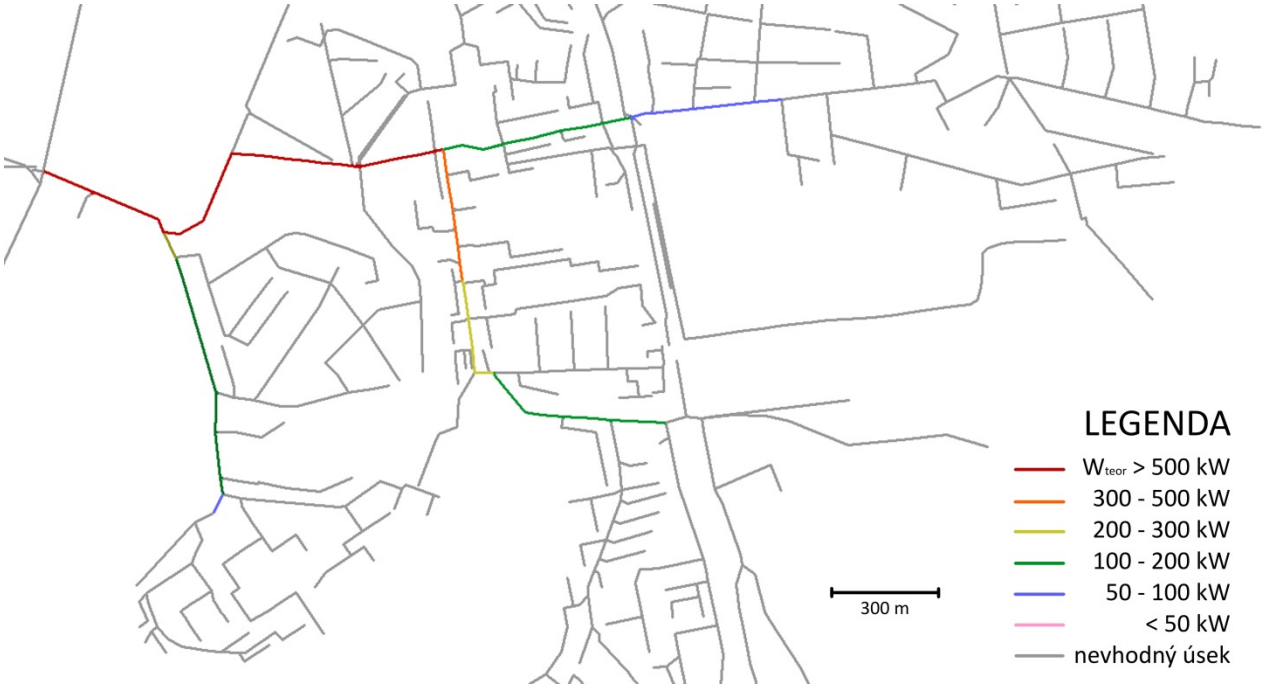
Tabulka 1. Klasifikace vhodnosti stok pro instalaci tepelných výměníků (* jsou označeny hodnoty, které jsou dány typem použitého tepelného výměníku, v tomto případě deskovým modulovým výměníkem [2]).

Kritérium		Klasifikace vhodnosti stok		
		nevhodná	částečně vhodná	vhodná
Průměr stoky	(mm)	< 800*	800–1200*	> 1200*
Paralelní moduly	(počet)	0*	1*	> 1*
Tlakové proudění	(četnost)	> 1 za 2 roky	---	≤ 1 za 2 roky
Snížení hydraulické kapacity	(%)	> 5%	---	≤ 5%

Prezentaci výsledků je vhodné provést graficky tak, že v situaci stokové sítě je barevně vyznačena výsledná klasifikace jednotlivých stokových úseků dle Tab. 1 (Obr. 1) a u vhodných a částečně vhodných úseků je pak barevně odstupňován teoreticky dostupný tepelný výkon W_{teor} (Obr. 2). Vhodné a částečně vhodné úseky by měly být zaznamenány i tabelárně se všemi detailními relevantními informacemi (Tab. 2).



Obrázek 1. Příklad přehledné situace úseků vhodných, částečně vhodných a nevhodných pro instalaci tepelných výměníků



Obrázek 2. Příklad detailní situace vhodných a částečně vhodných úseků s odstupňováním teoreticky dostupného tepelného výkonu

Tabulka 2. Příklad tabelární sumarizace vhodných a částečně vhodných stok

ID úseku	Profil	Klasifikace	Teoreticky dostupný tepelný výkon W_{teor} (kW)	Počet paralelních modulů (ks)	Sediment	Tečné napětí τ (Pa)
C_18661	Kruh DN1500	Částečně vhodná	193,0	1	ne	6,5
C_17039	Kruh DN1400	Částečně vhodná	171,2	1	ne	8,3
C_17040	Kruh DN1400	Částečně vhodná	132,0	1	ne	5,4
…	…	…	…	…	…	…

4 Určení realizovatelného potenciálu využití energie z odpadní vody ve stokové síti

4.1 Kritéria vhodnosti objektů

Vhodné budovy pro napojení na zdroj tepla z odpadní vody jsou vybírány podle níže uvedených kritérií.

Vlastnictví objektu

S ohledem na omezení problémů souvisejících s otázkou vlastnictví odpadních vod (a potažmo obsaženého tepla) ve stokové síti, je vhodné uvažovat s objekty ve vlastnictví obce, případně organizací obcí zřízených, kde lze předpokládat jednoduchou dohodu mezi vlastníky, správci a provozovateli stokové sítě a napojovaných objektů.

Vzdálenost objektu od vhodného či částečně vhodného úseku stoky

Vhodnost objektu z hlediska jeho lokace je limitována jeho vzdáleností od úseků stokové sítě, které byly vyhodnoceny jako vhodné či částečně vhodné pro umístění tepelných výměníků. Připojení není zpravidla vhodné tam, kde je vzdálenost větší než 300 m.

Způsob využití objektu

Pro efektivní využití tepelného výměníku jako bivalentního zdroje jsou vhodné zejména budovy s celoročním provozem a vyšší potřebou ohřevu vody.

Diskontovaná doba návratnosti

Diskontovaná doba návratnosti *DDN* je základním ukazatelem efektivity připojení nového zdroje tepla z hlediska investora. Při uvažované době životnosti tepelného výměníku 20 let, je za vhodnou považována *DDN* menší než 10 let a za částečně vhodnou *DDN* 10-15 let. Při jiné uvažované životnosti mohou být limitní hodnoty upraveny.

Změna teploty odpadní vody na přítoku ČOV

Příliš nízká teplota odpadní vody může vylučovat použití tepelných výměníků z důvodu ohrožení biologických procesů na ČOV. Změna (snížení) teploty vody na přítoku na ČOV by neměla překročit 0,5^{o}C v součtu za všechny instalované aplikace v povodí ČOV. Překročí-li snížení teploty na přítoku ČOV 0,5^{o}C, je nutné pro povolení instalace provést podrobné posouzení dopadu snížení teploty na biologické procesy ČOV.

Pokud by v důsledku instalace mohla teplota v aktivačních nádržích ČOV klesnout pod určitou limitní hodnotu (zpravidla 10°C), může si provozovatel ČOV vyhradit právo nařídit odstavení tepelných čerpadel na nezbytně nutnou dobu. Investor tepelného čerpadla by měl obdržet

informaci o tom, jak často takováto situace může nastat, aby byl schopen očekávanou odstávku tepelného čerpadla zapracovat do ekonomické analýzy návratnosti investice.

4.2 Potřebná data a podklady a jejich pořízení

Vlastnictví objektu

Pro určení vlastnických poměrů jednotlivých objektů lze využít katastr nemovitostí.

Vzdálenost objektu od vhodného či částečně vhodného úseku stoky

Informaci lze získat prolnutím katastrální mapy s mapou vhodných a částečně vhodných úseků pro využití tepla z odpadní vody, která je výstupem prvního kroku metodického postupu.

Způsob využití objektu

Způsob využití objektu lze získat od majitele nemovitosti, tedy obce či jí zřízené organizace.

Diskontovaná doba návratnosti

Výpočet diskontované doby návratnosti vychází z investičních nákladů, provozních nákladů, úspory nákladů na vytápění a ohřev vody a diskontní sazby.

Do investičních nákladů jsou počítány náklady na:

- výrobu tepelných výměníků a jejich instalaci (doprava, práce a převedení průtoku odpadní vody při instalaci),
- pořízení tepelného čerpadla, jeho instalaci a zapojení do stávajícího topného systému a
- vedení potrubí pro cirkulaci média mezi výměníkem a tepelným čerpadlem (dodávka a montáž vlastního potrubí, výkopové práce a oprava dotčených povrchů).

Do provozních nákladů jsou počítány náklady na:

- elektrickou energii na provoz tepelného čerpadla a
- pravidelnou údržbu výměníků (odstraňování biofilmu, který brání přestupu tepla [3]).

Pro výpočet úspory nákladů je nutné určit spotřebu tepelné energie pro jednotlivé vybrané objekty a její část, kterou je možné pokrýt tepelným čerpadlem. Informace o spotřebě tepla v objektu je možné získat od jejich majitele. Tepelné čerpadlo je zpravidla navrhováno jako bivalentní zdroj, jehož výkon je limitován buď teoreticky dostupným teplem ze stokové sítě, nebo odběrem tepla v objektu[1]. Návrhový je takový výkon tepelného čerpadla, který vykazuje nejnižší hodnotu diskontované doby návratnosti.

[1] Lze důvodně předpokládat, že pokrytí spotřeby objektu včetně špiček tepelným čerpadlem (monovalentní zdroj) nebude ekonomicky efektivní, protože tepelné čerpadlo v těchto případech funguje na plný výkon právě pouze v období spotřební špičky, jinak je jeho výkon využíván omezeně. Proto se efektivnější jeví využití tepelného čerpadla jako bivalentního zdroje s tím, že jeho provoz je kontinuální.

Diskontní sazba je uvažována dle aktuálních ekonomických podmínek.

Jedna z možností výpočtu je následující:

$$PV = \sum_{i=1}^{n} \frac{R_i}{(1+r)^i} \qquad (3)$$

kde:	*R*	(Kč)	jsou čisté výnosy v jednotlivých letech (tj. úspora nákladů minus provozní náklady),
	i	(-)	jsou jednotlivé roky hodnoceného období od 1 do *n*,
	n	(rok)	je délka hodnoceného období a
	r	(-)	diskontní sazba.

Čistá současná hodnota (Net Present Value, *NPV*) je pak:

$$NPV = PV - IC \qquad (4)$$

kde	*IC*	(Kč)	jsou investiční náklady.

Diskontovaná doba návratnosti *DDN* je pak hodnota *n* z rovnice (3), když *PV* je rovno výši investičních nákladů, tj. *NPV* = 0.

<u>Změna teploty odpadní vody na přítoku ČOV</u>

Změnu teploty odpadní vody na přítoku ČOV $\Delta T_{ČOV}$ (^{o}C) lze spočítat z rovnice:

$$\Delta T_{ČOV} = W_{TČ} / (\rho \,.\, c \,.\, Q_{ČOV}) \qquad (5)$$

kde	$W_{TČ}$	(kW)	celkový výkon tepelných čerpadel v povodí ČOV vč. plánované instalace,
	ρ	(kg.m^{-3})	hustota vody (ρ = 1),
	c	(kJ.kg^{-1}.°C^{-1})	tepelné kapacita vody (c = 4,19),
	$Q_{ČOV}$	(l.s^{-1})	průměrný bezdeštný průtok na ČOV.

Výpočet pomocí rovnice (5) je na straně bezpečnosti, neboť nezohledňuje případný opětovný ohřev vody z okolního prostředí před tím, než doteče na ČOV. Opětovný ohřev vody je zpravidla realizován přestupem tepla přes stěnu stokového potrubí v případech, kdy teplota okolní zeminy je vyšší než teplota vody ochlazené odběrem tepla prostřednictvím tepelného výměníku. Pro výpočet opětovného ohřátí vody existuje řada modelů, výběr vhodného a výpočet by měl být proveden odborníkem v dané oblasti.

Průměrný bezdeštný přítok na ČOV je běžně dostupný z údajů měřených na ČOV.

4.3 Vyhodnocení a prezentace výsledků

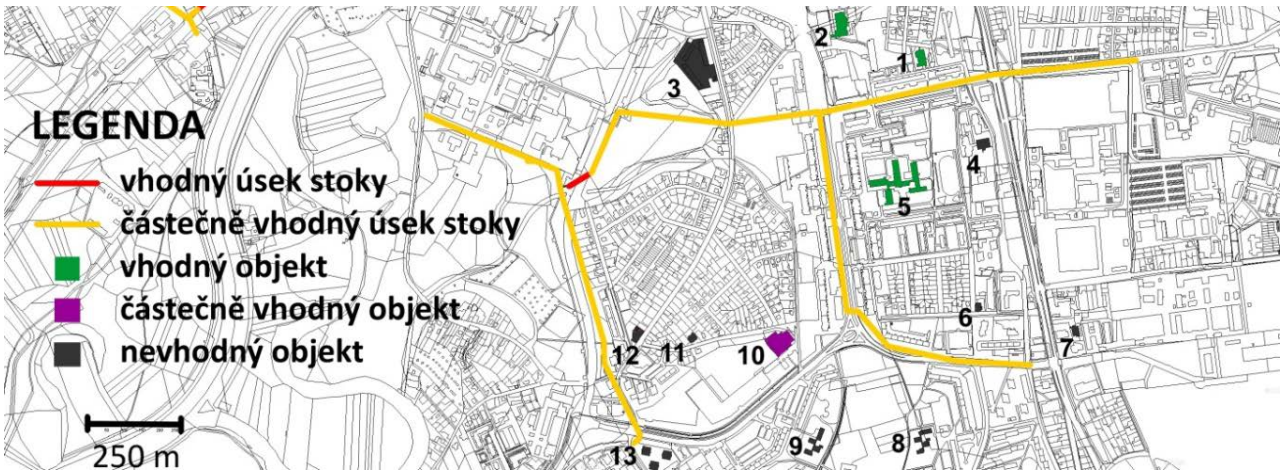
Klasifikace vhodnosti objektů pro odběr tepla ze stokové sítě podle jednotlivých kritérií probíhá na základě Tab. 3 do tří stupňů (objekt vhodný, částečně vhodný a nevhodný). Celkové vyhodnocení je dáno nejhorší hodnotou jednotlivých kritérií.

Tabulka 3. Klasifikace vhodnosti objektů pro odběr tepla ze stokové sítě

Kritérium		Klasifikace vhodnosti objektů		
		nevhodné	částečně vhodné	vhodné
Vlastnictví objektu	(---)	jiné než obecní	---	obecní
Vzdálenost od vhodného či částečně vhodného úseku stoky	(m)	> 300	---	< 300
Způsob využití	(---)	Sklady, garáže apod.	---	Domovy seniorů, školy, školky apod.
Diskontovaná doba návratnosti	(r)	> 15	10 - 15	< 10
Změna teploty odpadní vody na přítoku ČOV	(^{o}C)	> 0,5*	---	≤ 0,5

*Pokud podrobné posouzení vyloučí negativní vliv na ČOV, lze klasifikovat jako „vhodné“

Pro grafickou prezentaci výsledků jsou v situaci stokové sítě s vyznačenými vhodnými a částečně vhodnými úseky (výstup prvního metodického kroku) barevně vyznačeny vhodné a částečně vhodné objekty (Obr. 3). Vhodné a částečně vhodné objekty by měly být uvedeny i tabelárně se všemi relevantními informacemi (Tab. 4).



Obrázek 3. Příklad grafické prezentace vhodných objektů pro zásobení teplem z odpadní vody ve stokové síti

Tabulka 4. Vhodné a částečně vhodné objekty pro zásobení teplem z odpadní vody ve stokové síti

č.	Využití	Klasifikace	Výkon tepelného čerpadla (kW)	Pokrytí spotřeby objektu	*NPV* (tis. Kč)	*DDN* (roky)
2	Dům služeb	Vhodný	150	24 %	12 305	6
26	Základní škola	Vhodný	70	35 %	3 612	9
23	Mateřská a základní škola	Částečně vhodný	85	41 %	3 542	11
…	…	…	…	…	…	…

5 Shrnutí

Metodický postup je založen na zpracování a vyhodnocení dvou skupin dat. První skupinou jsou data o stavebních charakteristikách stokové sítě a potenciálních odběratelích, druhou skupinou pak jsou specializovaná provozní data stokové sítě, a to zejména o průtocích, hloubkách, rychlostech a teplotách odpadní vody. Obě skupiny dat jsou zpravidla běžně dostupné z GIS obce, správce či provozovatele kanalizace či pořízené během zpracování projektů typu generel kanalizace nebo generel odvodnění.

Poděkování

Metodika byla vytvořena v rámci projektu č. TA03020600 „Získávání tepelné energie z odpadní vody v kanalizačních sítích (enKAN)", který byl řešen s finanční podporou TA ČR.

Literatura

[1] Arthur, S., Ashley, R., Tait, S..and Nalluri, C. (1999). Sediment transport in sewers - a step towards the design of sewers to control sediment problems. Proc. Instn. Civ. Engrs Wat., Marit.& Energy, 136 (3), pp. 9-19.

[2] Stránský, D., Kabelková, I., Jelínek, M., Bareš, V., Šťastná, G. (2014). Vývoj tepelných výměníků pro získávání tepla z odpadní vody v kanalizaci a výběr vhodných míst jejich instalace. In: Vodní hospodářství, roč. 64, č. 10, s. 11-14.

[3] Characklis W.G. (1981). Bioengineering report: Fouling biofilm development: A process analysis. Biotechnology and Bioengineering, 23(9), 1923–1960.