

87

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
VÝZKUMNÝ ÚSTAV RYBÁŘSKÝ A HYDROBIOLOGICKÝ
VE VODŇANECH

VYUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPADEL V AKVAKULTUŘE

EDICE METODIK



~~Sp 11 330~~

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
VÝZKUMNÝ ÚSTAV RYBÁŘSKÝ A HYDROBIOLOGICKÝ VE VODŇANECH
Oddělení akvakultury a hydrobiologie**

VYUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPADEL V AKVAKULTUŘE

KOUŘIL JAN, MATOUŠEK JIŘÍ

č. 87

Vodňany

2008

ISBN 978-80-85887-77-8



Tato publikace byla vydána jako učební pomůcka v rámci řešení projektu

**Zkvalitnění bakalářského, magisterského a doktorského studia
rybářství na Jihočeské univerzitě**
(CZ.04.1.03/3.2.15.3/0427)

TENTO PROJEKT JE SPOLUFINANCOVÁN EVROPSKÝM SOCIÁLNÍM FONDEM A STÁTNÍM
ROZPOČTEM ČESKÉ REPUBLIKY

Obsah

1	ÚVOD	3
2	OHŘEV VODY PRO POTŘEBY CHOVU RYB	3
3	ZDROJE TEPLA PRO OHŘEV VODY V INTENZIVNÍ AKVAKULTUŘE	4
4	PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA	5
5	TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL	6
6	PRAVIDLA PŘI NÁVRHU SYSTÉMU S TEPELNÝMI ČERPADLY	11
7	SPECIFIKA POUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPADEL V AKVAKULTUŘE	11
8	STANOVENÍ VÝKONU TEPELNÉHO ČERPADLA	12
9	PŘÍKLADY VYUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPADEL	12
10	VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR	20

1. Úvod

Ryby patří mezi poikiloternní živočichy, tzn. že průběh jejich životních funkcí, jejich vývoj, intenzita příjmu potravy a rychlost růstu je významně ovlivňována teplotou vodního prostředí. Pomocí změny teploty lze např. docílit dřívějšího dosažení reprodukce u dlouhodobě dospívajících ryb (např. jeseterů) nebo zkrácení generačního intervalu v rámci šlechtitelské práce. Nejvýznamnější je možnost krátkodobého urychlení pohlavního dozrávání nebo synchronizace výtěrů ryb. Tím se přispívá k prodloužení odchovného období plůdku (což je využíváno např. u kapra). U domácích teplomilnějších druhů ryb jako je lín nebo sumec a u nepůvodních teplomilných druhů ryb, především býložravých kaprovitých ryb, se pomocí zvýšené a stabilně udržované teploty vody umožňuje zabezpečovat řízenou reprodukci. Všeobecně platí, že zvýšení teploty o 10 °C v rámci fyziologického rozpětí jednotlivých druhů ryb zvýší za předpokladu kvalitativně a kvantitativně odpovídající výživy rychlost růstu 2 - 3 krát. Využití této biologické zákonitosti umožňuje při dlouhodobém nebo alespoň sezónním odchovu ryb několikanásobně zrychlit jejich růst ve srovnání s průměrnou celoroční rychlostí (se započtením chladného a přechodných ročních období). Vzhledem k všeobecně vysokým kapitálovým a provozním nákladům na provoz zařízení pro chov ryb v zařízeních využívajících oteplenou vodu je realizace chovu rentabilní zejména u ryb s vyšší tržní cenou.

2 Ohřev vody pro potřeby chovu ryb

Ohřev vody pro potřeby chovu ryb vychází jednak z charakteru a potřeb rybí farmy, jednak z místních možností a hlavně z analýzy investičních a provozních nákladů. Ohřev vody pro potřeby akvakultury je využíván v sezónně působících rybích línách především teplomilných ryb, a také v celoročně provozovaných odchovných nasadového materiálu a tržních ryb. Jednotlivé rybí farmy se mohou velmi výrazně lišit v sezónnosti a výši potřeby tepla. Rybí líně pro kapra a další teplomilné druhy ryb jsou provozovány a potřebu tepla pro ohřev vody mají především v průběhu 2 - 4 jarních měsíců (zejména května a června).

Celoročně provozované farmy s požadavkem zpravidla na kontinuálně udržovanou teplotu vody mají nejvyšší požadavky v zimním období, menší na jaře a na podzim a téměř žádné v letním období, ať již se jedná o průtočné nebo recirkulační systémy. Recirkulační systémy mají požadavky na ohřev v chladném období roku mnohonásobně nižší než průtočné systémy. Celoroční provozování průtočných systémů s oteplenou vodou, vyjma použití termální vody a odpadní oteplené vody, je z ekonomických důvodů v podstatě nereálné. Lokalizace zdrojů tepla, ať již využitelných termálních pramenů nebo chladicí vody z průmyslových podniků, či klasických, případně atomových elektráren, může v případě dalších vhodných podmínek rozhodnout o výstavbě rybní farmy i v oblasti, kde nemá chov ryb tradici. Způsob ohřevu a požadavky na jeho rozsah z hlediska kapitálových a provozních nákladů významně rozhodují o reálnosti úvah o výstavbě rybních farem.

3 Zdroje tepla pro ohřev vody v intenzivní akvakultuře

K ohřevu vody pro potřeby chovu ryb je možno využít například geotermální teplo, odpadní teplo z průmyslu a energetiky, záměrný přímý ohřev, tepelná čerpadla a solární ohřev.

3.1 Geotermální teplo

Využití geotermálního tepla je vázáno na výskyt geotermálních zdrojů. Česká republika nemá v podstatě žádné vhodné zdroje, resp. stávající jsou využívány k jiným účelům (především pro balneologii). Výjimkou je několik rybních lánů pro lososovité ryby využívajících pramenů s mírně vyšší teplotou vody ke zkrácení inkubace jiker. Jiná je situace na Slovensku, Polsku a především v Maďarsku, kde existuje řada farem pro chov teplomilných druhů ryb, zejména sumečka afrického, významně se podílejících na celkové produkci tržních ryb. Často je možnost využívání termálních zdrojů pro potřeby akvakultury komplikována nevhodným chemickým složením termální vody (obsah solí a plynů). Proto je nutno používat výměníky, kde však nevhodné složení vody rovněž může působit komplikace (jejich zanášení).

3.2 Odpadní teplo z průmyslu a energetiky

Odpadní teplo z průmyslu a energetiky je potenciálně významným zdrojem tepla pro intenzivní chovy ryb, zejména celoročně provozované. Nevýhodou může být nedostatek vody či nevhodnost její kvality pro chov ryb. Významná je zejména možnost využití pro větší celoročně provozované provozy. Rizikem je možnost plánovaných a především neplánovaných výpadků zdrojů tepla, zejména v chladném ročním období. Daleko více jsou takto zranitelné akvakulturní průtočné systémy, než systémy recirkulační.

3.3 Přímý ohřev

Záměrný přímý ohřev vody pro menší a sezónně provozované akvakulturní systémy, především rybní lánů, byl ve svém počátku založen především na použití pevných paliv (uhlí a koksu), plyných paliv (zemního plynu popř. propan-butanu) a tekutých paliv (topný olej). V současnosti již nejsou hlavně z ekonomických, ekologických a regulačních důvodů používána pevná a tekutá paliva. Větší sezónně provozované rybní lánů a menší celoročně provozované rybní farmy (experimentální provozy, odchovny okrasných ryb) využívají především plyná paliva a elektrickou energii.

3.4 Alternativní zdroje tepla

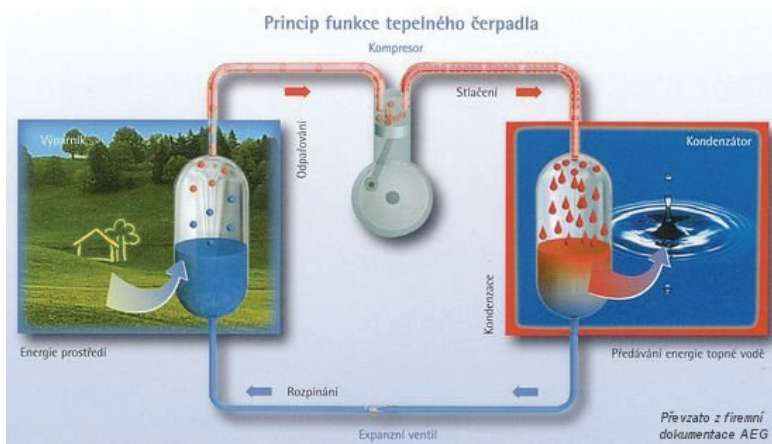
Vzhledem k růstu cen energií a z ekologických důvodů se hledají i jiné zdroje tepla pro ohřev vody v akvakultuře. Jedná se o využití alternativních zdrojů představovaných solárními soustavami a zejména tepelným čerpadly. Tyto sofistikované způsoby ohřevu vody jsou provozně úsporné, ale investičně nákladnější. V závislosti na konstrukčním řešení,

sezónnosti využití a požadovaném výkonu jak tepelná čerpadla, tak především solární soustavy, vyžadují téměř vždy instalaci paralelního (se srovnatelným výkonem) nebo alespoň doplňkového (s nižším výkonem) způsobu ohřevu (např. elektrickým proudem). Jedním ze základních problémů ekonomického využití těchto zařízení k ohřevu vody pro chov ryb je značná sezónní disproporce mezi zdroji tepla a potřebou jejich využití. V teplém ročním období v našich klimatických podmínkách existuje jen velmi omezená potřeba ohřevu vody, vzhledem k obvyklému průběhu teplot. Na druhou stranu jsou ale v tomto období nejnáze dosažitelné možnosti získávání tepla pomocí solárních soustav. Naopak v zimním období (a do značné míry i v přechodných obdobích) je vysoká potřeba ohřevu vody v odchovných systémech, ale možnosti získávání tepla ze solární energie jsou značně omezeny (krátký den, nízké ozáření, častější výskyt dnů s omezeným slunečním svitem) nebo zcela vyloučeny (v závislosti na konstrukčním řešení, aktuální teplotě a sněhových srážkách). Do určité míry toto platí i pro použití tepelných čerpadel typu vzduch-voda, jejichž využití v chladném ročním období je méně efektivní a v nejchladnějších měsících roku v mrazivých dnech v podstatě nemožné. U solárních soustav je nevýhodou jejich zásadní závislost na slunečním záření, tzn. jejich provoz pouze v denní době, dále nerovnoměrnost výkonu vlivem počasí a roční doby. Potřeba eliminace těchto pravidelných sezónních a denních výkyvů a zejména nepravidelných výkyvů v intenzitě ohřevu, klade značné nároky nejen na výkon doplňkového (v tomto případě spíše alternativního) zdroje, ale současně i na systém regulace. Do značné míry se denní kolísání intenzity ohřevu dá řešit retencí teplotně státní látky nebo přímo ohřivané vody. To při konvenčním způsobu využití (např. pro vytápění budov) vyvolává vysoké kapitálové nároky na budování takových zásobníků, jež v podstatě eliminují vzniklé přínosy. V případě ohřevu vody v recirkulačních systémech s chovem ryb však takovou retenci představuje samotný odchovný akvakulturní systém (cirkulující voda v odchovných nádržích s rybami a voda v technologických zařízeních zabezpečujících usazování, mechanickou a biologickou filtraci atd.). Vzhledem k relativně vysokým kapitálovým nákladům lze s těmito způsoby ohřevu uvažovat spíše u dlouhodobě, nejlépe celoročně, provozovaných recirkulačních systémů, než u krátkodobě (sezónně) provozovaných zařízení. Vzhledem k určité možnosti získání relativně vysoké státní podpory při výstavbě těchto zařízení, nelze však vyloučit ani možnost ekonomicky výhodného použití těchto systémů i ve výše uvedených případech.

Další možností využití alternativních zdrojů tepla představuje použití tepelných čerpadel. Principy jejich činnosti, různé možnosti jejich konstrukčního řešení a použití, včetně konkrétního vyhodnocení a posouzení jejich energetické účinnosti na různých typech akvakulturních zařízení provozovaných v České republice jsou uvedeny dále.

4 Princip tepelného čerpadla

Teplo obsažené v zemi (geotermální teplo), v povrchové a podzemní vodě (vyjma termálních vod s výrazně vyšší teplotou) je vzhledem k relativně nízkým teplotám těchto zdrojů tepla běžnými způsoby nevyužitelné. Toto tzv. nízkopotenciální teplo, které je obnovitelným a tedy ekologickým energetickým zdrojem, však může být pomocí tepelného čerpadla převedeno na teplo s teplotou tak vysokou, že se může využít pro vytápění budov, pro ohřev užitkové vody, vody v bazénech a v případě chovu ryb pro ohřev průtočných či recirkulačních systémů na rybích líhních, odchovných plůdku či tržních ryb, zejména teplo milných nebo přímo tropických druhů ryb.



Obr. 1 Princip funkce tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo sice přepravuje teplo z nižší teploty na vyšší, ale nikoliv samovolně, nýbrž až po přivedení určitého množství energie zvětší do svého tepelného oběhu. Tato přivedená energie musí mít vyšší kvalitu (teplotu), než má teplejší prostředí, do něhož je přečerpávané teplo odváděno. Teplo je odebíráno z okolního prostředí pracovní látkou (vzduch, voda, solanka) a je přenášeno do výparníku. Ve výparníku je teplo odnímáno pracovní látkou pomocí chladiva. Zahřátím kapalného chladiva dochází k jeho vypařování. Páry chladiva jsou odsávány a stlačovány v kompresoru. Tím se zvýší jejich teplota. Páry chladiva jsou dále odváděny do kondenzátoru, kde předávají teplo ohřívávané látce, zchladí se a změní své skupenství na kapalné. Kapalné chladivo je přiváděno zpět přes expanzní ventil do výparníku. Celý cyklus se opakuje.

Na celkovém množství tepla převáděného do druhého prostředí (v případě chovu ryb do vody průtočného nebo recirkulačního systému) a tedy topném výkonu, se podílí teplo odebrané z prvního prostředí, tj. okolní vzduch, vrstva zeminy, studna nebo říční či vodní nádrž (které je k dispozici zadarmo) asi 60 – 70 % a elektrická energie (jež se musí platit) asi 30 – 40 %.

Topný faktor tepelného čerpadla udává, kolikrát větší je získaný výkon (získaná energie) proti vynaloženému příkonu (vynaložené energii). Topný faktor závisí na teplotě zdroje tepla a na teplotě, při které je teplo vyprodukováno a spotřebováváno. Čím vyšší je teplota zdroje tepla a čím nižší je teplota, při které se teplo spotřebovává, tím větší je topný faktor. Vztahuje se vždy jako momentální hodnota na určitý provozní stav. Topný faktor se u tepelných čerpadel, s ohledem na řadu faktorů, které jej ovlivňují, pohybuje v rozpětí 2,0 až 4,5 (obvykle mezi 2,5 až 4,0).

5 Typy tepelných čerpadel

Podle toho, odkud tepelné čerpadlo odebírá nízkopotenciální teplo a podle toho, jakou teplotonosnou látku ohřívá, se zpravidla jednoduše rozdělují tepelná čerpadla na: „země - voda“ (resp. „glykol - voda“, protože teplo ze země je přenášeno nemrznoucí kapalinou na bázi glykolu), „voda - voda“, „vzduch - voda“, „vzduch - vzduch“, příp. „voda - vzduch“.

Pro konvenční způsoby využití tepelných čerpadel (k vytápění budov) se používají zpravidla otopné soustavy s vodou jako teplotonosnou látkou. V menší míře se jako teplotonosná

látka používá i vzduch pro účely teplovzdušného vytápění. V případě využití tepelných čerpadel v akvakultuře jsou převážně používány systémy „voda - voda“, „vzduch - voda“.

Tepelné čerpadlo: země/voda

Popis:	Tepelné čerpadlo odebírající teplo z plochy pozemku. Na pozemku jsou v 1,5-2 m hloubce a 1 m rozteči zakopány plastové hadice naplněné nemrznoucí směsí (zemní registr), která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem.
Výhody:	Nižší investiční náklady v porovnání s vrty, vysoký topný faktor, lze instalovat ve většině lokalit v ČR.
Nevýhody:	Nelze instalovat u objektů s malým pozemkem, na ploše s instalovaným zemním registrem nelze nic stavět.



zdroj: www.cerpadla-ivt.cz

Obr. 2. Ilustrativní obrázek tepelného čerpadla země/voda

5.1 Tepelné čerpadlo: země/voda – rybník

Popis:	Tepelné čerpadlo odebírající teplo z povrchové vody. Na dně jsou položeny plastové hadice se zátěžkami, naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi vodou a tepelným čerpadlem.
Výhody:	Nižší investiční náklady v porovnání s vrty a plošnými kolektory, vysoký topný faktor.
Nevýhody:	Riziko poškození potrubí např. v případě povodně nebo při výlovu. Podmínkou instalace je získání povolení příslušného vodoprávního úřadu na základě prokázání míry teplotního vlivnění dané vodoteče.

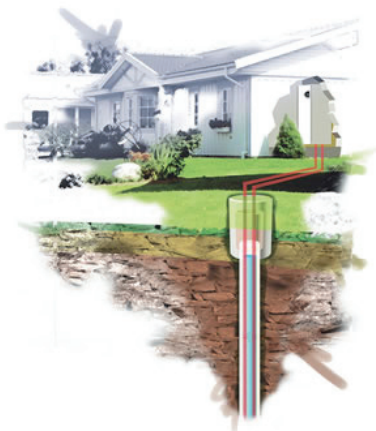


zdroj: www.cerpadla-ivt.cz

Obr. 3. Ilustrativní obrázek tepelného čerpadla země/voda – rybník

5.2 Tepelné čerpadlo: země/voda - vrt

Popis:	Tepelné čerpadlo odebírající teplo z vrtu. Ve vrtu jsou zasunuty plastové sondy naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem.
Výhody:	Stabilní teplota zdroje tepla z vrtu, vysoký topný faktor, lze instalovat ve většině lokalit v ČR.
Nevýhody:	Vyšší pořizovací náklady. Podmínkou instalace je nutné získání povolení příslušného báňského úřadu, a nutnost hydrogeologického posudku.



zdroj: www.cerpadla-ivt.cz

Obr. 4. Ilustrativní obrázek tepelného čerpadla země/voda – vrt

5.3 Tepelné čerpadlo: voda/voda

Popis:	Tepelné čerpadlo odebírající teplo ze spodní vody. Spodní voda je vyčerpávána ze studny, v tepelném čerpadle je ochlazena a pak odvedena do druhé vsakovací studny.
Výhody:	Nižší pořizovací cena v porovnání s vrty, velmi vysoký topný faktor.
Nevýhody:	Spodní voda musí mít teplotu min. 7 °C a musí vyhovět její chemický rozbor. Větší riziko poruch, nutnost instalace a čištění filtrů. Před instalací je potřebné provést čerpací a vsakovací zkoušku. Na vypouštěnou vodu může být pohlíženo jako na odpadní.
Zajímavé údaje:	V některých lokalitách dosahuje teplota spodní vody až 14 °C.
Poznámka:	Je třeba si uvědomit, že požadované množství čerpané vody může být velmi značné (i několik jednotek nebo desítek l/s).



zdroj: www.cerpadla-ivt.cz

Obr. 5. Ilustrativní obrázek tepelného čerpadla voda/voda

Povrchová voda má splňovat stejné požadavky jako voda podzemní (složení, čistota, teplota, množství). Nevýhodou je však zde nejen problém s čistotou, ale také s teplotou, protože na tocích, které nemají vyšší teplotu díky lokalizaci pod údolními nádržemi z nichž je vypouštěna spodní (v zimním období teplejší voda) přítomnosti teplých pramenů, či nejsou ohřívány odpadním teplem (chladící vodou z průmyslových podniků nebo energetiky), klesá teplota v zimních měsících i pod 4 °C, tedy pod teplotu využitelnou běžnými typy tepelných čerpadel. Pokud se chce při dostatečném průtoku povrchová voda použít i při nízkých teplotách, musí se použít nestandardní řešení, např. převod tepla nemrznoucí kapalinou s dalším výměníkem ponořeným do vodního toku (výparník je řešen tak, aby případná námraza nezpůsobila jeho destrukci).

5.4 Tepelné čerpadlo: vzduch/vzduch , vzduch/voda

Okolní vzduch je neekologičtějším zdrojem nízkopotenciálního tepla pro tepelná čerpadla, protože teplo, které mu bylo pomocí tepelného čerpadla odebráno, je do něj zpravidla bezprostředně vráceno tepelnými ztrátami vytápěného objektu. Přesto bylo použití těchto systémů („vzduch - voda“, „vzduch - vzduch“) v minulosti obecně málo rozšířeno. Příčinou byla skutečnost, že v průběhu topné sezóny se v širokém rozsahu mění topný výkon

tepelného čerpadla a po určitou dobu klesá teplota vzduchu tak hluboko, že tepelné čerpadlo ztrácelo svůj efekt.

Popis:	Tepelné čerpadlo odebírající teplo z venkovního vzduchu ve venkovním výparníku.
Výhody:	Nižší pořizovací cena, rychlá a levná instalace.
Nevýhody:	Nižší topný faktor a pokles výkonu při nižších venkovních teplotách, kratší životnost v porovnání s čerpadly země - voda, vyšší hlučnost.



zdroj: www.cerpadla-ivt.cz

Obr. 6. Ilustrativní obrázek tepelného čerpadla vzduch/vzduch a vzduch/voda

Nízkopotenciální teplo je u tepelných čerpadel typu „vzduch - voda“ odebírané ze vzduchu výparníkem, který je zpravidla umístěn na volném prostranství. Aby bylo možno odvést potřebné množství tepla, musí přes výparník proudit velké množství vzduchu. Toho se docílí použitím axiálních ventilátorů. Při použití tohoto způsobu v obytných zónách musí být splněny hygienické předpisy související s požadavkem na nízkou hlučnost. Toho lze docílit použitím ventilátorů se dvěma rychlostmi otáček (v noci musí pracovat s nižšími otáčkami při extrémně nízké hlučnosti). S uvedenými vylepšeními nezbytně souvisí i odpovídající systémy řízení těchto systémů, umožňující optimalizovat provozní režim a spotřebu energie.

Pokles topného výkonu, ale i topného faktoru při snižujících se teplotách vzduchu je u těchto tepelných čerpadel únosný. Při teplotě vzduchu -15°C dochází ke snížení hodnoty topného faktoru, ve srovnání s teplotou 0°C , jen o 30 % (při použití pístového kompresoru tato hodnota klesá i pod 40%). Tento pokles topného výkonu lze dále zmenšit nebo téměř zcela eliminovat pomocí zvyšování otáček kompresoru při poklesu teploty vzduchu tak, že při teplotě -15°C dosahuje topný výkon 90 - 95%. Zvyšování otáček může být buď plynulé, nebo skokové.

Použití systémů „vzduch - vzduch“, příp. „voda - vzduch“ by připadalo v úvahu, kdyby pomocí tepelného čerpadla byly temperovány vnitřní prostory budovy s instalovaným recirkulačním systémem pro chov ryb, případně s pomocí tepelného čerpadla řešeno chlazení budovy v teplém ročním období.

6 Pravidla při návrhu systému s tepelnými čerpadly

Základní parametry tepelného čerpadla, tj. topný výkon a topný faktor, jsou výrazně závislé na vnějších pracovních podmínkách, tj. na teplotě zdroje a na teplotě teplotnosné látky. Oba parametry se zhoršují jednak s poklesem teploty zdroje, jednak s růstem teploty teplotnosné látky, tj. s rostoucím rozdílem teplot mezi vstupní (primární) a výstupní (sekundární) stranou tepelného čerpadla. Kompresor přitom musí přemáhat větší teplotní rozdíl, resp. ekvivalentní tlakový rozdíl a větší kompresní poměr. Na zhoršování parametrů tepelného čerpadla má pak negativní vliv změna termodynamických vlastností chladiva (snižuje se objemová chladivost), a především u klasických pístových kompresorů pokles objemové, resp. dopravní účinnosti se zvětšováním kompresního poměru. Posledně uvedená skutečnost znemožňovala použití tepelných čerpadel s jednostupňovými kompresory pro zdroje nízkopotenciální tepla s nižšími teplotami a tedy celoroční využití tepelných čerpadel „vzduch - voda“. V posledních letech se ale začaly vyrábět spirálové kompresory (tzv. kompresory SCROLL), jež mají řadu významných výhod. Pracují prakticky se 100% objemovou účinností a jejich parametry jsou při změnách pracovních podmínek závislé jen na termodynamických vlastnostech použitého chladiva a ne již na objemové účinnosti. Zejména spirálové kompresory s velkým kompresním poměrem ve spojení se speciálními tzv. nízkoteplotními chladivými pak mohou pracovat jednostupňově i při vysokých kompresních poměrech, resp. při nízkých vypařovacích teplotách. Použití těchto kompresorů s nízkoteplotními chladivými pak umožňuje řešit tepelná čerpadla odebírající nízkopotenciální teplo ze vzduchu, (tepelná čerpadla „vzduch - voda“), která pracují efektivně v průběhu celého roku, resp. i při nízkých teplotách okolního vzduchu -20 až -25 °C. Použitá chladiva jsou přitom ekologicky zcela nezávadná, tzn. nenarušují ozónovou vrstvu Země.

Vzhledem k tomu, že teplota topné vody získávané tepelným čerpadlem je limitována jednak požadavkem na efektivní topný faktor, jednak pevnostním dimenzováním kompresoru a dalších částí tepelného čerpadla, přičemž limitní hodnota se pohybuje na úrovni 50 °C (max. 55 °C), je nutné použít pro vytápění budov tzv. nízkoteplotní otopné soustavy (např. velkoplošná otopná tělesa, podlahové nebo stěnové vytápění apod.). Posledně uvedené způsobu vytápění budov jsou obzvláště výhodné, protože systém může pracovat se vstupní teplotou vody jen 40 °C i méně a topný faktor je pak podstatně vyšší než u otopných soustav se vstupní teplotou topného média 50–55°C. Rovněž požadavky na teplotu vody jako chovného prostředí pro ryby (v závislosti na druhu ryby se pohybuje zpravidla v rozpětí 15 - 25 °C) jsou pro použití tepelných čerpadel příhodné, stejně jako skutečnost, že díky tepelné vodivosti vody je přenos tepla intenzivní.

7 Specifika použití tepelných čerpadel v akvakultuře

Vedle používání tepelných čerpadel k ohřevu vody v průtočném nebo recirkulovaném systému s využitím jako zdroje tepla okolního vzduchu, vrstvy zeminy, vody ze studny, řeky či rybníka, existují i další specifické možnosti aplikací.

Jedná se především o možnost využívání chlazené vody pro potřeby chovu ryb. Toho lze použít buď při „obráceném“ provozování tepelného čerpadla systému „voda - voda“, kdy je z chovného prostředí ryb teplo řízeně odváděno mimo systém. Další, sofistikovanější možností, jež je využitelná zejména v experimentálních provozech, veřejných akváriích, či v produkční akvakultuře, je současná úprava teploty dvou nebo více odchovných systémů vodami o různé teplotě. Přitom existuje i možnost, v případě průtočných systémů, vzájemným mícháním teplé a studené vody (získaných pomocí tepelného čerpadla) pracovat s několika dalšími teplotami vody. Těchto možností lze využívat například k regulaci líhnutí plůdku z inkubovaných jiker. S výhodou bylo a nadále je těchto možností využíváno např. v líhnicích síhovitých ryb u Mazurských jezer v Polsku. Líhnutím jiker síhů v závěrečné fázi inkubace

při použití mírně ochlazené vody se docílí prodloužení délky inkubační doby, kulení se posune (řízeně podle aktuální situace vývoje teplot v jezerech) o 2 - 3 týdny a plůdek je možno vysadit do příznivějšího prostředí (z hlediska teploty a především výskytu vhodné přirozené planktonní potravy). Navíc lze v závěrečné fázi inkubace (pomocí přechodu z použití chlazené vody na o několik stupňů vyšší aktuální teplotu jezerní vody) docílit synchronizace kulení plůdku). Další možnou variantou tepelného čerpadla v akvakultuře je recyklace tepla v průtočném systému vody, neboli odebrání tepla na odtoku systému a jeho přenos na vstup do odchovného zařízení. Není známo, že by v České republice bylo instalováno tepelné čerpadlo s podobným využitím v akvakultuře.

8 Stanovení výkonu tepelného čerpadla

Obecně se otopné soustavy s tepelnými čerpadly navrhují tak, že tepelné čerpadlo nepokrývá plnou potřebu maximálního tepelného výkonu při předpokládaných (projektovaných) venkovních teplotách vzduchu. Je to proto, že kapitálové náklady na instalaci takto výkonného tepelného čerpadla by byly velmi vysoké a přitom by jeho výkon byl využit jen několik dnů v roce (extrémní výpočtové teploty v našich klimatických podmínkách trvají v průměru 5-10 dnů v roce). Optimálním řešením je použití bivalentního nebo multivalentního způsobu vytápění. Při něm je pomocí tepelného čerpadla kryta potřeba tepelného výkonu jen do určité míry a při vyšších nárocích na vytápění mu „pomáhá“ další zdroj nebo více zdrojů tepla s vyššími provozními náklady (například elektrický případně plynový kotel). Vzhledem k tomu, že období s nízkými teplotami je obvykle relativně krátké, činí podíl doplňkového zdroje na celkové spotřebě tepla v průběhu roku jen asi 10 – 20 %. Tepelné čerpadlo se proto dimenzuje na 60 – 75 % potřebného maximálního (výpočtového) tepelného výkonu. Takto optimalizovaný způsob vytápění umožňuje snížit spotřebu elektrické energie na vytápění až o 65%.

8.1 Ukázka orientační rozvahy potřebného výkonu tepelného čerpadla pro recirkulační systém

Při minimálním efektivním požadavku průběžného průměrného ohřívání chovné vody o $\Delta T = 0,1^\circ\text{C}$ a maximálním průtoku 10,5 l/s.

Vypočtený požadovaný výkon: $0,1 * 10,5 * 4,2 = 4,4 \text{ kW}$

Odhadovaný požadovaný výkon ... 4,4 kW

Podle odhadu a z praktických zkoušek v experimentálním objektu ve VÚRH JU Vodňany, postačoval (mimo zimní měsíce) tento výkon na krytí běžných teplotních ztrát i na pomalé ohřívání celého objemu vody v recirkulaci.

9 Příklady využití tepelných čerpadel

9.1 Akvakulturní zařízení v České Republice

Zde uvádíme příklady instalovaných tepelných čerpadel v akvakulturních zařízeních v ČR:

- kotelna teplé odchovny ryb, Velký Dvůr, Rybníkářství Pohořelice, a. s.
- kotelna rybí líhně Štiptůň, Rybníkářství Petrův Zdar s.r.o., Nové Hradky
- místnost vzduchotechniky experimentální rybochovné haly, VÚRH JU Vodňany

Na těchto objektech jsme nainstalovali jednoduchý měřicí systém a provedli měření účinnosti instalovaných tepelných čerpadel. Tento měřicí systém je znázorněn na Obr. 7. Z rozdílu vstupní a výstupní teploty z tepelného čerpadla a množství vody jež protekla tímto čerpadlem bylo možné vypočítat množství dodaného tepla. Ten byl každých 30 sekund spolu s teplotami a průtokem archivován. Současně byl obsluhou, nebo automaticky odečítán

elektroměr pro tepelné čerpadlo. Takto získaná data byla následně vyhodnocena. Hlavně jsme se zaměřili na vypočtení účinnosti – topného faktoru.

9.1.1 Pohořelice

Kotelna chovného objektu v lokalitě Nový Dvůr podniku Rybníkářství Pohořelice a.s. je osazena tepelným čerpadlem typu voda/voda. Toto čerpadlo ohřívá přes výměník vodu v akumulární nádrži, odkud se pak odebírá pro vlastní chov ryb. Primární voda je odebírána z vrtané studny.

Parametry tepelného čerpadla:

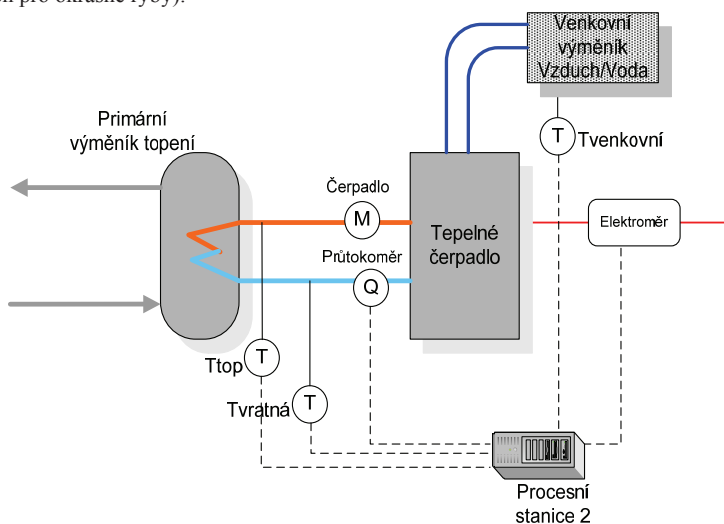
Typ: MACH ZZ22+ZZ24

Výrobce: Stanislav Mach Moravský Krumlov

VČ: 62/2001

Max tepelný výkon : 150kW

Poloprůtočný systém, ohřev vody v zásobní nádrži pro výměnu vody v odchovných nádržích pro okrasné ryby).



Obr. 7. Přehledové schéma měření topného faktoru



Obr. 8. Ukázka instalace tepelného čerpadla v Pohořelících

Tab. 1. Výsledky měření v Pohořelících

Datum	Čas	Stav elektroměru (kWh)	Spotřeba el. energie (kWh)	Stav vodoměru (m ³)	Protečené množství vody Q (m ³)	Vyrobené teplo (kWh)	Topný faktor
22.3.2005	7 00	96454	81	114266	53,3	239,8	3,0
23.3.2005	7 00	96535	72	114799	46,3	228,7	3,2
24.3.2005	7 00	96607	108	115262	70,8	399,9	3,7
25.3.2005	7 00	96715	156	115970	110,0	532,5	3,4
29.3.2005	7 00	96871	135	117070	82,3	460,4	3,4
30.3.2005	7 00	97006	106	117893	68,9	364,5	3,4
31.3.2005	7 00	97112	49	118582	34,5	132,5	2,7
1.4.2005	7 00	97161	208	118927	137,5	643,9	3,1
5.4.2005	7 00	97369	62	120302	41,8	188,9	3,0
6.4.2005	7 00	97431	51	120720	35,9	145,3	2,8
7.4.2005	7 00	97482	75	121079	50,3	193,3	2,6
8.4.2005	7 00	97557	117	121582	86,1	396,3	3,4
12.4.2005	7 00	97674		122443			
Celkem			1220		817,7	3925,9	3,2

9.1.2 Nové Hrady

V kotelně rybní líně podniku Rybníkářství Petrův Zdar s.r.o., Nové Hrady je instalováno tepelné čerpadlo typu vzduch - voda.

Parametry tepelného čerpadla:

Typ: MACH ZB11+ZB11

Výrobce: Stanislav Mach Moravský Krumlov

VČ: 05062003

Max tepelný výkon: 120kW

Průtočný systém, ohřev vody pro napájení části rybí líhně pro štika, kapra a další kaprovité druhy ryb (nádrže pro generační ryby, inkubační láhve pro jikry, kolíčky s váčkovým plůdkem).

Pro ohřev vody jsou použity deskové rozebíratelné nerezové výměníky. Tepelné čerpadlo má dva nezávislé chladicí okruhy a pracuje do jednoho vodního okruhu.

Tab. 2. Výsledky měření v Nových Hradech

Datum	Čas	Stav elektroměru (kWh)	Spotřeba el. energie (kWh)	Vyrobené teplo (kWh)	Topný faktor
16.4.2005	8 00	85759	364	1029,9	2,8
17.4.2005	8 00	86123	656	1044,8	1,6
18.4.2005	8 00	86779	888	2599,4	2,9
20.4.2005	19 00	87667	256	605,3	2,4
21.4.2005	8 00	87923	1672	3038,2	1,8
24.4.2005	8 00	89595	380	1131,1	3,0
25.4.2005	8 00	89975	1334	3056,5	2,3
3.5.2005	19 00	91309	344	421,1	1,2
4.5.2005	14 00	91653			
celkem			5894	12926,2	2,2



Obr. 9. Ukázka instalace měřicího systému k tepelnému čerpadlu v N.Hradech



Obr. 10. Venkovní vzduchové výměníky

9.1.3 VÚRH JU Vodňany

V objektu bylo experimentálně ověřováno malé tepelného čerpadla typu vzduch - voda o maximálním výkonu 6kW. Využito bylo pouze k ohřevu chovné vody pro recirkulační systém. Ohřev chovné vody pro průtočný systém, vlastní vytápění objektu, ani případné chlazení vody průtočného systému v letních měsících, nebylo realizováno z důvodů velkého potřebného výkonu čerpadla a tedy velké ekonomické náročnosti.



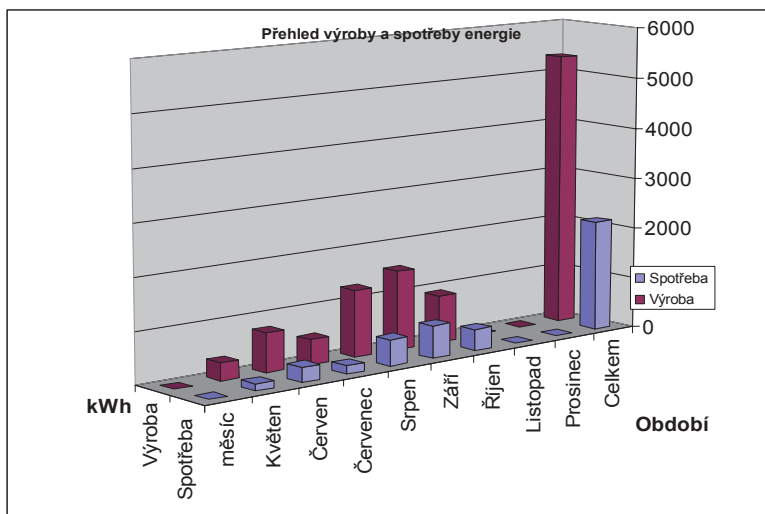
Obr. 11. Malé tepelné čerpadlo s primárním výměníkem topení ve Vodňanech

Tab. 3. Přehled výsledků měření z Vodňan za jednotlivé měsíce

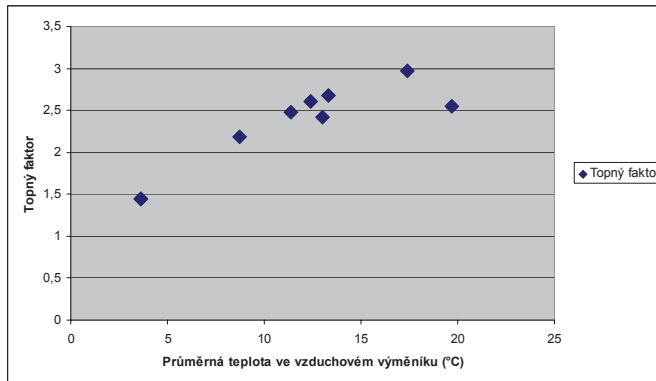
	měsíc	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem
Spotřeba elektrické energie	kWh	131,5	284,7	162,3	509,8	634,6	418,9	5,8	8,8	2156,4
Vyrobena tepla	kWh	342,8	762,5	482,1	1298,4	1532,9	913,2	8,4	12,7	5353,0
Topný faktor	-	2,61	2,68	2,97	2,55	2,42	2,18	1,45	1,44	2,48
Úspora energie	kWh	211,3	477,8	319,8	788,6	898,3	494,3	2,6	3,9	3196,6

Tab. 4. Dosažený topný faktor TČ ve VÚRH JU Vodňany v souvislosti s průměrnými venkovními teplotami vzduchu

Měsíc	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem
Průměrná teplota (°C)	12,4	13,3	17,4	19,7	13,0	8,7	3,6	3,6	11,4
Topný faktor	2,607	2,678	2,970	2,547	2,416	2,180	1,448	1,443	2,482



Obr. 12. Průběh spotřebované a dodané energie ve VÚRH JU Vodňany



Obr. 13. Závislost topného faktoru na teplotě ve vzduchovém výměníku při provozu TČ ve VÚRH JU Vodňany

Z předchozího obrázku je patrné zvyšování účinnosti topného faktoru v závislosti na stoupající teplotě vzduchu. Během provozu bylo tepelné čerpadlo vytíženo nerovnoměrně podle potřeby dohřívání nádrží. Průměrné účinnosti v jednotlivých měsících se měnily podle provozního režimu tepelného čerpadla a zejména podle venkovní teploty vzduchu sloužícího jako primární zdroj tepelné energie. V posledních 2 měsících se již čerpadlo nevyužívalo, protože malý teplotní spád na výměníku již nestačil krýt ztráty v recirkulačním okruhu.

Tab. 5. Přehled dosažených topných faktorů TČ v jednotlivých objektech

Objekt	Rok měření	Typ	Topný faktor
Rybníkářství Pohořelice	2005	voda/voda	3,2
Rybářství Petrův zdar s.r.o. Nové Hrady	2005	vzduch/voda	2,2
Experimentální objekt VURH JU Vodňany	2006	vzduch/voda	2,5

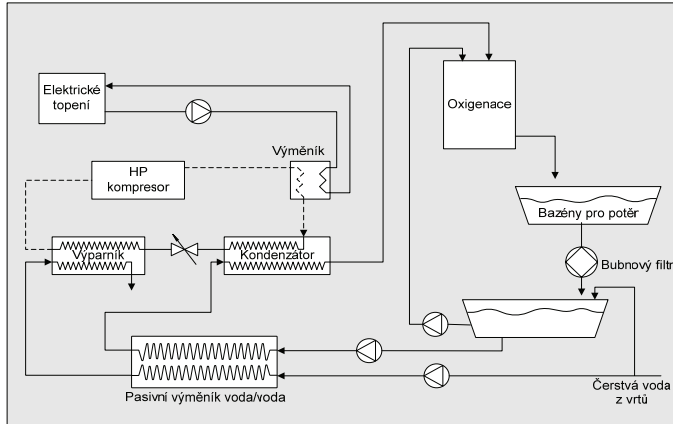
9.2 Akvakulturní zařízení v zahraničí

Akvakulturní zařízení společnosti Alléghanys Inc., v St-Alexis des Monts (Quebec) v Kanadě využívá tepelná čerpadla voda – voda, kdy primárním zdrojem tepla jsou čtyři vrty s vydatností přibližně 100 l/s s teplotou vody 12°C (obr. 14). Tento systém, dle informací laboratoře **Laboratoire des technologies électrochimiques et des electrotechnologies d'Hydro-Québec (LTEE)**, má úsporu 87 % energie a návratnost v ekonomickém prostředí Kanady 1,5 roku.

9.3 Inspirativní realizace topení s tepelným čerpadlem

Topení ve školícím a rekreačním objektu ČVUT Praha v Herbertově (obr. 16).

Pomocí dvou tepelných čerpadel o výkonu 67,8 kW a 51 kW typu voda - voda je vytápěn objekt školícího zařízení a také je jimi ohřívána teplá užitková voda. Tato čerpadla využívají teploty vody v řece Vltavě nedaleko od výpusti přehradní nádrže Lipno. V mlýnském náhonu je instalováno přibližně 1600 m potrubí se směsí vody a ekologického propylenglykolu. Kromě tepla z vody v mlýnském náhonu je možné ještě využívat 100 m² teplovodních slunečních kolektorů.



Obr. 14. Schéma technologie ohřevu vody



Water heating system at Alléghanys Inc.

Obr. 15. Systém ohřevu vody akvakulturního zařízení společnosti Alléghanys

10 Vyhodnocení a závěr

Provedená měření na třech topných systémech dávají orientační pohled na to, jak mohou tepelná čerpadla uspořit provozní náklady na energie při chovu ryb. Pokud nebudeme, vzhledem k rozdílnému ekonomickému a zřejmě i výjimečně příhodnému zdroji, přihlížet k velmi vysokým úsporám systému firmy Alléghanys, ale budeme vycházet z výsledků našich měření, možno konstatovat, že na 3 různých objektech bylo dosaženo průměrných vyšší topného faktoru v rozpětí 2,2 až 3,2. Úspora elektrické energie dosahovala 55% až 69%. Finanční úspora a návratnost celé investice pak záleží na konkrétních podmínkách realizace, ceně elektrické energie dnes i cenovém růstu v příštích letech. Zhruba je návratnost investice odhadována přibližně na 10 let.



Obr. 16. Pohled na mlýnský náhon a sluneční kolektory.

Doporučujeme při projektovém záměru, prováděcím projektu i vlastní instalaci topení spolupracovat s odbornou firmou zabývající se problematikou tepelných čerpadel a mající s nimi zkušenosti. Tato spolupráce vám může ušetřit mnoho prostředků i problémů.

Seznam doporučené literatury

Kouřil, J. 2006. Využití recirkulačních systémů s biologickým čištěním vody k intenzivnímu chovu ryb (krátký přehled). Bull. VÚRH Vodňany, 42(1): 33-37.

Kouřil, J., Hamáčková, J., Stejskal, V. 2008. Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb. Metodika VÚRH JU Vodňany, č. 85, 40 s.

Firemní literatura firmy TC MACH, s.r.o. www.tcmach.cz

Firemní literatura firmy VESKOM, spol. s r.o. www.veskom.cz

Webový portál o vytápění www.tzb-info.cz

Webové stránky Energy Centre České Budějovice www.eccb.cz

Webový portál o tepelných čerpadlech www.abc-cerpadel.cz

Firemní literatura firmy IVT. www.cerpadla-ivt.cz

Informace o systém ohřevu vody akvakulturního zařízení společnosti Alléghans

<http://www.oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/ici/caddet/english/r427.cfm?attr=28>

Poděkování

Metodika vznikla jako výsledek řešení výzkumného záměru VÚRH JU Vodňany MSM 6007665809, financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy a výzkumného projektu NAZV QF 4118, financovaného Ministerstvem zemědělství.

Lektoroval:

Ing. **Bořivoj Šourek** ČVUT Praha (borivoj.sourek@fs.cvut.cz)

Adresa autorů:

doc. Ing. **Jan Kouřil**, Ph.D.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech, Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany (kouril@vurh.jcu.cz)

Ing. **Jiří Matoušek**

dataPartner s.r.o. České Budějovice (matousek@datapartner.cz)

V edici Metodik (Technologická řada) vydala Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech. – Náklad: 100 výtisků –
Technická realizace: PTS spol. s r.o. – Vodňany. Předáno do tisku: 2008