

PŘIRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY

Katedra fyzické geografie a geoekologie



Příčiny změn teploty vody v povrchových tocích

(Bakalářská práce)

Šárka Douděrová

Vedoucí práce: Ing. Josef Hladný, Csc.

Kutná Hora 2008

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracovala samostatně s výjimkou konzultací a použitím uvedené literatury.

Kutná Hora 15.8.2008

Podpis

.....*Ronděrová Jiřka*.....

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala všem, kteří mi svými zkušenostmi a radami pomohli při vzniku této práce, zvláště pak děkuji Ing. Josefu Hladnému, CSc. za odborné vedení práce, konzultace, připomínky a za vytvoření povzbuzujícího prostředí během práce.

Za další odborné připomínky děkuji Ing. Václavu Matouškovi DrSc. a Ing. Eduardu Hanslíkovi, CSc. z Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G. Masaryka v Praze.

Na závěr bych ráda poděkovala své rodině za pomoc, podporu a toleranci během vytváření této práce.

Anotace

The temperature of river water is important from the point of view of water consumption, usage of water for cooling purposes, formation of ice phenomena in winter time, during self-cleaning processes and chemical and biological processes in rivers, usage of water for recreational purposes, sanitation and decontamination of rivers etc. Besides natural causes, anthropogenic activities (such as the release of waste water of wastewater treatment plants, recirculation of water in industries, outlet from lower layers of accumulated water in reservoirs etc.) started mainly in the second half of 20th century to have an impact on the water temperature in rivers. Furthermore it is assumed that in the last decades, water temperature changes manifested global warming which is caused by the greenhouse effect. The goal of my bachelor thesis is to analyze those water temperature changes and clarify the appropriate model technologies to estimate the development of thermal pollution of rivers.

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. VÝZNAM TEPLoty A TEPLoTNÍHO REŽIMU VODY	9
2.1 Vodárenství	9
2.2 Průmysl	10
2.3 Zemědělství	12
2.3.1 Závlahová voda	12
2.3.2 Voda pro chov ryb	12
2.4 Voda pro rekreační účely	14
2.5 Samočisticí pochody a kyslíkový režim	14
2.6 Vliv na ostatní vodní organismy	15
2.7 Tvorba ledových jevů	17
3. MĚŘENÍ TEPLoty VODY	19
3.1 Charakteristiky teploty vody v tocích	20
3.2 Teplotní klasifikace toků ČR	23
4. TEPLoTNÍ REŽIM VODNÍCH TOKŮ	25
4.1 Činitelé ovlivňující teplotní režim vodních toků	25
4.1.1 Hydrologické a hydraulické poměry	25
4.1.2 Klimatické poměry	26
4.1.3 Morfologické poměry	26
4.1.4 Biochemické procesy ve vodě	26
4.1.5 Činnost člověka	26
4.2 Časové změny teploty vody	26
4.2.1 Denní kolísání teploty vody	26
4.2.2 Roční kolísání teploty vody	27
4.2.3 Dlouhodobé kolísání teploty vody	28

5. TEPELNÉ ZNEČIŠTĚNÍ	29
5.1 Definice tepelného znečištění	29
5.2 Zdroje tepelného znečištění	29
5.2.1 Vliv tepelných elektráren	31
5.2.2 Vliv jaderných elektráren	32
5.2.3 Vliv cukrovarů	34
5.2.4 Vliv přehradních nádrží	35
5.2.5 Vliv čistíren odpadních vod	36
5.3 Vliv změny klimatu na teplotu říční vody	36
5.4 Možnosti využití oteplených vod	42
6. MODELOVÁNÍ TEPLOTNÍCH ZMĚN VE VODNÍM TOKU	43
6.1 Postupy modelování vývoje teploty vody ve vodním toku	43
6.1.1 Vstupní data modelu a jejich měření	43
6.1.2 Schéma koncepce a funkcí modelu pro výpočet tepelných změn ve vodním toku	48
6.1.3 Počítačové řešení	53
6.1.4 Ověření modelu	54
6.1.5 Předpověď a simulace teplotních změn (Matouškovým modelem)	54
7. DISKUSE	60
8. ZÁVĚR	62
9. LITERATURA	64
10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	69
11. PŘÍLOHA	71

1. ÚVOD

Tháles z Míléty považoval vodu za pralátku, božskou tekutinu, z níž odpařováním a změnami vznikl celý svět, za substanci, která je pramenem života a z níž vzniklo všechno bytí.

Dnes již víme, že tomu tak úplně přesně není, přesto však voda zůstává látkou, která umožňuje život a nelze ji ničím nahradit. Je jednou ze základních podmínek existence života na Zemi. A nejhodněji zastoupenou součástí všech organismů (tvoří 60–70 % lidského těla).

Vždy byla limitujícím faktorem civilizace a surovinou zásadního významu, protože jen asi 2,3 % veškeré vody na Zemi je voda sladká a říční voda zaujímá dokonce jen 0,0001 % veškeré vody. Velkým problémem je i její nerovnoměrné rozložení na zemském povrchu. Na Islandu připadá na jednoho obyvatele ročně 674 000 m³ obnovitelné vody. Velmi dobře je na tom i Kanada či Norsko, kde na jednoho obyvatele připadá 112 000 m³/rok obnovitelné vody. Naopak nejmenší tento podíl vody připadá na obyvatele Kataru, Saudské Arábie, Baham a Kuvajtu, kde je o vodu nouze.

Na území České republiky téměř žádná voda nepřitéká a nenacházejí se zde ani velká jezera. Na jednoho obyvatele připadá asi 1 500 m³/rok vody. Mezinárodně se po této stránce uznává limit 1700 m³/osoba/rok, který se v průměru, při hodnocení situace s vodou, považuje za již uspokojivý stav. V porovnání s tímto parametrem se řadí potenciál obnovitelné vody na území České republiky tudíž mezi mírně podprůměrné. Z toho vyplývá, že je třeba s vodou v České republice racionálně hospodařit a pečovat též o její jakost, jejíž špatný stav by mohl i dostatečné zásoby vody znehodnotit.

Lidé si však ne dostatečně dlouho a ne příliš vážně uvědomovali význam vody pro život na Zemi. Ne vždy byly vody, a to zejména zdroje pitné vody, důsledně chráněny. V posledních desetiletích se situace začíná pomalu měnit. Na mapách jakosti vody České republiky začíná pomalu žlutou a červenou barvu, v dříve četných říčních úsecích, značící stupně znečištění 4 a 5, nahrazovat zelená, znázorňující stále sice ne stoprocentní jakost vody, ale vodu, kterou již lze využívat v průmyslu a omezeně, v případě, že není jiný zdroj i ve vodárenství.

Primárních druhů znečištění povrchových vod je mnoho. Jsou to organické i anorganické látky, inertní materiály, bakteriální – patogenní organismy, radioaktivní látky avšak i přílišné teplo. Oteplené vody se většinou nezmiňují v přehledech možných druhů znečištění vody. Význam teploty vody však nelze podceňovat. Teplota vody má zásadní

význam pro oběh látek, pro metabolismus všech hydrobiontů, nejen těch, jež jsou nám pravděpodobně nejbliže a to rybám, protože jsou zdrojem potravy člověka.

Voda v kapalném stavu má velkou tepelnou kapacitu a malou schopnost přenosu molekulárního tepla. Tepelné vlastnosti vody dodávají vodním biotopům vysokou tepelnou stabilitu a termickou kapacitu schopnou účinně tlumit denní a sezónní výkyvy teploty okolní atmosféry. Proto řada vodních organismů je citlivá hlavně na rychlé změny teploty, které mohou vyvolat až teplotní šok spojený s úhynem.

Oteplení vodního toku bývá problémem při vypouštění větších objemů ohřátých vod z průmyslu, energetiky či jiných zdrojů. Nejvýrazněji se tento problém projevuje v letních měsících za vyšších atmosférických teplot a malých průtoků vody v tocích.

Zvýšená teplota vody způsobuje například snížení koncentrace kyslíku ve vodě jeho nižší absorpcí a rozpustností, urychlení rozkladných procesů a tím jeho vyšší spotřebu. V krajním případě se při dlouhodobém vypouštění oteplených vod může zcela změnit ekosystém v daném úseku toku.

Nepopíratelný vliv na teplotní režim toků mají i přehradní nádrže, které vypouštějí vodu z výpustných zařízení dle manipulačních řádů.

Cílem práce je proto analyzovat význam teploty vody ve vztahu k jejím možným dopadům na živé organismy včetně člověka a jeho činností, popsat teplotní režim toků, jakož i identifikovat příčiny změn teploty vody v proudících recipientech. Dalším úkolem je popsat model, který by byl schopen simulovat teplotní změny toku. K tomu všemu je třeba využít a zpřehlednit dostupnou literaturu a podstoupit konzultace s předními odborníky na toto téma.

Kapitola druhá pojednává o teplotě vody, teplotním režimu a jejich významu pro živé organismy a hospodářství.

Třetí kapitola popisuje způsoby měření teploty vody, teplotu vody toků České republiky a její vývoj přibližně za posledních 100 let. Zmiňuje se i o teplotní klasifikaci toků ČR.

Čtvrtá kapitola uvádí teplotní režim vodních toků a činitele, které jej více či méně ovlivňují.

Kapitola pátá pojednává o příčinách změn teploty vody způsobených člověkem a jeho aktivitami, ať už se jedná o energetiku, průmysl nebo globální oteplování.

Šestá kapitola popisuje princip modelu teplotních změn toku.

V navazujícím magisterském studiu bych v tomto vybraném tématu ráda dále pokračovala.

2. VÝZNAM TEPLoty A TEPLoTníHO REŽIMU VODY

Teplota a teplotní režim vodních toků ovlivňují všechny složky života člověka, společnosti, ale i hospodářství. Při nastalých potížích se většinou nejedná o jeden konkrétní problém, ale o komplex problémů v celém hospodářství země.

Vodní tok je využíván k zásobování pitnou i užitkovou vodou pro obyvatelstvo, zemědělství i průmysl, výrobě elektrické energie, chlazení v jaderných a tepelných elektrárnách, lodní dopravě, odvádění odpadních vod, rekreaci, dodávce vody pro závlahy či pro chov ryb. Teplota vody je dále důležitá pro předpověď ledových jevů, posuzování samočisticí schopnosti toků, výpočet tepelné bilance nebo výpočet výparu z volné hladiny.

2.1 Vodárenství

Úkolem vodárenství jakožto jedné z nejdůležitějších součástí hospodaření s vodou je opatřit pro potřeby společnosti postačující množství pitné vody ve vyhovující jakosti, v optimálním časovém rozložení a v místě požadované potřeby, [Hlaváč, 2005].

Povrchové vody jsou v ČR z hlediska množství hlavním zdrojem pitné vody. K tomu slouží příslušná legislativa. Příloha č. 3 k Nařízení vlády č. 61/2003 dělí pitnou vodu do tří kategorií dle úpravy surové vody na pitnou vodu.

Kategorie A1 – Úprava zaručující jednoduché fyzikální postupy a desinfekce, například rychlá filtrace a desinfekce.

Kategorie A2 – Dostačuje běžná fyzikální úprava, doprovázena však chemickými postupy a desinfekcí, například chlorování nefiltrované vody, srážení, vločkování, usazování, filtrace, desinfekce (případně v nutnosti i závěrečné chlorování).

Kategorie A3 – Intenzivní fyzikální a chemická úprava, rozšířená úprava a desinfekce, například chlorování do bodu zlomu, srážení, vločkování, usazování, filtrace, adsorpce (aktivní uhlí), desinfekce (ozonizace, závěrečné chlorování).

Tab. č. 1 *Ukazatelé cílové a přípustné hodnoty znečištění povrchových vod, které jsou využívány nebo u kterých se předpokládá jejich využití jako zdroje pitné vody*

Poř. čís.	Ukazatel	Jednotka	Hodnoty					
			kategorie A1		kategorie A2		kategorie A3	
			cílové	přípustné	cílové	přípustné	cílové	přípustné
4	Teplota	°C	15	20(0)	22	25(0)	22	25(0)

Zdroj: Příloha č. 3 k Nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

Maximální přípustnou hodnotou znečištění povrchových vod je dle zmíněné Přílohy č. 3 rovněž teplotní limit 25 °C. Někteří autoři považují vody, které se nevyužívají jako pitné, za znečištěné, mají-li teplotu vyšší než 26 °C.

Optimální teplota při úpravě surové vody na pitnou vodu je 8–12 °C. Teplota chladnější než 5 °C může způsobovat zdravotní problémy a naopak voda teplejší než 15 °C není již osvěžující.

2.2 Průmysl

Žádné odvětví průmyslu se neobejde bez vody, [Jermář, 1982]. Nejvíce je jí potřeba v energetice, hutnictví, chemickém průmyslu (a to zejména při zpracování ropy) a v potravinářském průmyslu (hlavně v cukrovarnictví).

Voda se průmyslově využívá pro:

- vlastní výrobu – jako součást výrobku (výrobní voda)
 - při technologickém procesu (mytí, hydraulická doprava atd.)
- chlazení
- topení a výrobu páry
- jiné účely (úklid, pitná voda apod.)

Chladírenství

Z hlediska teploty vody je významné zejména chladírenství. Pravděpodobně díky tomu, že kromě vzduchu, je voda nejlevnějším chladícím médiem, je při chlazení nejčastěji používána.

Potřebné množství chlazené vody je přímo úměrné množství odváděného tepla a nepřímo úměrné rozdílu teploty přiváděné a odváděné vody.

Tab. č. 2 Srovnání průtočných a cirkulačních zařízení co do potřeby a spotřeby vody

Chlazení		Charakteristika	Množství chladicí vody		Příčina ztrát
			potřeba	ztráty (spotřeba)	
Průtočné		Voda se použije jen jednou, po průchodu zařízením se odvádí	$Q = \frac{0,241T}{t_1 - t_2}$ [m ³ .s ⁻¹]	0,001(t ₂ -t ₁ +10)Q [m ³ .s ⁻¹]	Výpar, netěsnosti
		Voda obíhá a mnohonásobně se použije, dokud se kvalitativně neznehodnotí, pak se vyměňuje	$Q = \frac{0,241T}{t_1 - t_2}$ [m ³ .s ⁻¹]	0,002(t ₂ -t ₁ +10)Q [m ³ .s ⁻¹]	Výpar, rozstřík, odluh, netěsnosti
	s otevřeným okruhem	Voda se ochlazuje přímým stykem se vzduchem			
	s uzavřeným okruhem	Voda se ochlazuje ve výměníku bez styku se vzduchem		0,01Q [m ³ .s ⁻¹]	Odluh, netěsnosti

Zdroj: Jermář, 1982

Závislost množství chladicí vody na množství odváděného tepla a teplotě přiváděné a odváděné vody se vypočte podle vzorce

$$Q = \frac{0,241T}{t_1 - t_2} \quad , \quad (1)$$

kde

Q – potřebné množství chladicí vody [m³.s⁻¹]

T – množství odváděného tepla [J.s⁻¹]

t_1 – teplota přiváděné vody [°C]

t_2 – teplota odváděné vody [°C]

Voda na chlazení, tvoří 60–80 % potřeby vody v průmyslu. Nejvíce se jí spotřebuje při výrobě elektřiny (v atomových elektrárnách více, než v tepelných elektrárnách), hutnictví a chemickém průmyslu.

Pro velkou potřebu vody v chladírenství, je velmi důležitý přechod od průtočného chlazení na chlazení cirkulační s uzavřeným okruhem, jež je sice technicky náročnější a nákladnější, ale též šetrnější.

2. 3 Zemědělství

2.3.1 Závlahová voda

Teplota vody je důležitá především pro závlahu v zemědělství.

Teplota závlahové vody, by pokud možno měla být vyšší než teplota půdy. Optimální teplota v jarních měsících je 10–15 °C, v létě 15–20 °C.

ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu, která platí pro hodnocení a použití vody k doplňkové závlaze říká, že nejvyšší a nejnižší přípustná teplota závlahové vody závisí na rozdílu teploty vody a ovzduší, způsobu závlahy, na druhu vegetace a fázi jejího růstu. Pro asimilaci rostlin je zpravidla v našich podmínkách nejvýše přípustnou teplotou závlahové vody 35 °C.

2.3.2 Voda pro chov ryb

Změny teploty vody během roku spolu se světelnou diurnální a sezónní periodicitou nejlépe ovlivňují aktivitu a biorytmy vodních organismů a jejich vývojové cykly.

Ve vodních tocích se v závislosti především na teplotě vody, ale také na její jakosti a charakteru koryta, vytvářejí (podle dřívější legislativy) čtyři pásma výskytu ryb:

- (1) pstruhové – s teplotou vody < 20 °C,
- (2) lipanové – s teplotou vody ~ 20 °C,
- (3) parmové – s teplotou vody < 25 °C,
- (4) cejnové – s teplotou vody > 25 °C.

Ryby jsou poměrně teplotně tolerantní a mohou dlouhodobě snášet i teploty mimo uvedený rozsah. Nebezpečná je pro ně především prudká a náhlá změna teploty, kdy se nestihnou přizpůsobit (aklimatizovat). Některá literatura uvádí tuto hranici do 10 °C. Novější legislativa – Příloha č. 2 k Nařízení vlády č. 71/2003 Sb. Ukazatele a hodnoty jakosti povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů (ze dne 23.ledna 2003) – uvádí dělbu říčních úseků jen na lososové a kaprové, což je pro moderní potřeby z hlediska teploty vody dostačující, viz Tab. č. 3.

Tab. č. 3 Teplota oteplené vody a vody lososové a kaprové

Ukazatel	Hodnoty pro vody lososové	Hodnoty pro vody kaprové	Analytické metody ¹⁾	Minimální četnost odběrů vzorků a měření ²⁾	Poznámky
	přípustné	přípustné			
Teplota [°C]	<p>1. Teplota měřená po proudu od místa vypouštění způsobujícího oteplení (na konci mísící zóny³⁾) nesmí být vyšší než neovlivněná hodnota o:</p> <p style="text-align: center;">1,5 °C 3 °C</p> <p>2. Vypouštění způsobující oteplení nesmí způsobit po proudu od místa vypouštění (na konci mísící zóny³⁾) zvýšení teploty na hodnoty vyšší než:</p> <p style="text-align: center;">21,5 °C 28 °C 10 °C 10 °C</p> <p>Snížený teplotní limit 10°C na konci mísící zóny³⁾ platí pouze v době rozmnožování ryb, které vyžadují pro rozmnožování nízkou teplotu vody (pstruh obecný, lipan podhorní, mník jednovousý, vranka obecná); a platí pouze pro vody, kde se takové ryby mohou vyskytovat.</p>		Termometrie	Týdně, nad místem tepelného znečištění i na konci mísící zóny ³⁾	<p>Musí být vyloučena náhlá překročení teploty.</p> <p>Jakost je splněna, pokud vyhovují všechny vzorky.</p>

Zdroj: Příloha č. 2 k Nařízení vlády č. 71/2003 Sb.

Poznámky:

¹⁾ Při analýze vzorků mohou být použity i jiné vhodné a srovnatelné metody, pro daný účel validované.

²⁾ Četnost odběru vzorku může být snížena v případě prokazatelně stálých a vyhovujících hodnot jakosti lososových a kaprových vod.

³⁾ Konec mísící zóny je místo, kde se teploty vody u obou břehů vyrovnají.

Lososové vody jsou povrchové vody, které jsou vhodné pro život ryb lososovitých (*Salmonidae*) a lipana podhorního (*Thymallus thymallus*). Kaprové vody jsou povrchové vody, které jsou vhodné pro život ryb kaprovitých (*Cyprinidae*) nebo jiných druhů, jako je štika obecná (*Esox lucius*), okoun říční (*Perca fluviatilis*) a úhoř říční (*Anguilla anguilla*). Hranicí mezi nimi je teplota vody okolo 20 °C.

Tepelné znečištění má vliv i na prostorovou distribuci ryb. Ryby na toto znečištění reagují bezprostředně. Udržují se tak v druhově specifickém rozmezí teploty vody, které jim zajišťuje optimální metabolismus.

V zimním období dochází v jezerních ekosystémech ke shromažďování ryb v okolí kanálů přivádějících oteplenou vodu, [Horký, Slavík, 2006]. Někteří rybí jedinci do kanálů i přímo vstupují. Lze tedy předpokládat, že k podobnému ovlivnění prostorové distribuce dochází i v tekoucích vodách.

Na středním toku Labe byl proveden výzkum pomocí telemetrie. Přibližně v polovině sledovaného úseku se nachází přivaděč oteplené vody z chladicího systému elektrárny Opatovice. Bylo dokázáno, že proměněná prostorová distribuce významným způsobem ovlivňuje výsledky hodnocení rybích společenstev na odběrových profilech, které jsou zasaženy tepelným znečištěním. U kanálu se zdržovaly teplomilné druhy ryb a reofilová rybí společenstva, která vyhledávají proudící vodu, od něj naopak odplouvala.

2. 4 Voda pro rekreační účely

Podle Vyhlášky 135/2004 Sb. ze dne 17. března 2004, kterou se stanoví Hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch, nebyla zatím stanovena teplota vody pro koupaliště ve volné přírodě.

Lze hovořit pouze o doporučené teplotě vody. Dle *Jermáře* [1982] by minimální teplota vody v přírodním koupališti měla být 14 °C, optimální > 18 °C.

2. 5 Samočisticí pochody a kyslíkový režim proudící vody

Samočisticí schopnost vody je soubor fyzikálních, chemických a biologických procesů, jimiž se voda přirozenou cestou (čili bez přispění člověka) zbavuje znečištěn a dochází ke zlepšení jakosti vody.

Mezi fyzikální procesy samočištění se řadí sedimentace, koagulace, rozpouštění kyslíku ze vzduchu, unikání plyných produktů z biochemických reakcí, rozptýlení a zředění znečišťujících látek ve vodách. Chemickými procesy samočištění jsou: oxidace, redukce, neutralizace, srážení, fotochemický rozklad a kompletace. Mezi biologické procesy patří mineralizace biologicky rozložitelných látek působením mikroorganismů.

Při rozkladu znečišťujících látek se spotřebovává kyslík, který je rozpuštěný ve vodě. Je spotřebováván aerobními procesy při biochemickém rozkladu organických látek (deoxygenace). Jeho deficit se následně doplňuje reaerací. Deoxygenace, jež je způsobena znečištěním toku a reaerace vedou k ustálenému stavu mezi zdrojem a spotřebou kyslíku ve vodním toku. Proces je závislý na teplotě vody. Na jedné straně zvyšující se teplota vody urychluje rozkladné procesy, na straně druhé zvýšení teploty vody vede ke zvýšení

kyslíkového deficitu (snižuje hodnotu maximálního nasycení vody kyslíkem) a ke zpomalení nebo až k zastavení biochemických aerobních procesů.

Rozpustnost kyslíku je nepřímo úměrná teplotě vody a přímo úměrná atmosférickému tlaku. Za normálních podmínek (tlak 101,3 kPa) obsahuje při 100% nasycení 1 litr vody při 0 °C hmotnost 14,65 mg O₂. Při 30 °C jde již jen o 7,44 mg O₂, [Kurfürst, 2008]. Z tohoto důvodu je zakázáno vypouštět odpadní vody teplejší než 30 °C.

Tab. č. 4 *Množství rozpuštěného kyslíku při dané teplotě*

T [°C] :	0	10	15	20	25	30
Množství O [ml.l ⁻¹]:	14,62	11,33	10,15	9,2	8,38	7,63

Zdroj: Holoubek, 2007

Studenomilné ryby (např. losos, pstruh) jsou náročné na kyslík a vyžadují přes 8 mg O₂.l⁻¹. Teplomilné ryby (např. karas, lín, pískoř) se spokojí s obsahem 4,5–8 mg O₂. l⁻¹. Při koncentraci menší než 4 ml.l⁻¹ dochází ve vodě k úhynu ryb a vodních organismů.

Průběh samočištění lze vyjádřit biochemickou spotřebou kyslíku (BSK), což je množství kyslíku potřebné na biochemickou stabilizaci organických látek. Vedle rychlosti vody ji ovlivňuje především koeficient deoxygenace, jež je závislý na teplotě vody.

2.6 Vliv na ostatní vodní organismy

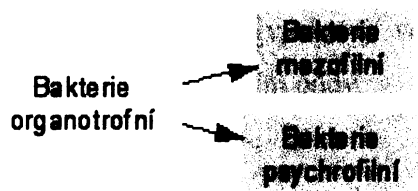
Mikroorganismy bývají většinou odolnější vůči chladu, než vůči teplu, ale vztah na bakteriologické změny nebývá přímo úměrný. Působí i jiné faktory jako je počet konzumentů, znečištění nebo průtok vody.

Bakterie organotrofní (*Organotrophic bacteria*)

Jsou nesourodou skupinou, která má charakteristickou vlastnost, kterou je získání životní energie, zdrojů uhlíku i dusíku pouze z organických látek, bez kterých nejsou schopné existence. Běžně se vyskytují ve všech typech vodního prostředí a jsou považovány obecně za indikátory celkového znečištění vody. Stanovení se omezuje na psychrofilní a mezofilní bakterie (Obr. č. 1) dle normovaných metodik. Stanovení mikrobů umožňuje zaznamenávat změny v bakteriální populaci při technologických procesech, např. při úpravě povrchové vody na vodu pitnou, znečištění zdrojů pitné vody a během jejího rozvodu, změny kvality balené

vody během jejího skladování, účinnost chlorace pitné vody, dezinfekci bazénů, čištění odpadních vod, [Říhová Ambrožová, 2007].

Obr. č. 1 Dělení organotrofních bakterií



Zdroj: Říhová Ambrožová, 2007

Bakterie psychofilní (*Psychrophilic bacteria*)

Jsou chladnomilné bakterie, které rostou nejlépe při teplotách nižších než 20 °C. V přírodě se vyskytují v hlubokých jezerech a studených pramenech, kde rozkládají organické látky klesající ke dnu. Velmi pomalu se rozmnožují. Minimální teploty růstu jsou v rozsahu –5–0 °C, optimální 10–20 °C, maximální 25–30 °C, [Říhová Ambrožová, 2007].

Bakterie mezofilní (*Mesophilic bacteria*)

Rostou mezi 20–40 °C, s optimem při 37,5 °C. Většina saprofytických bakterií má optimum mezi 20–35 °C, [Říhová Ambrožová, 2007].

Bakterie koliformní (*Coliform bacteria*)

Tyto bakterie indikují fekální znečištění, a proto se jich využívá při indikaci účinnosti úpravy vody či dodatečné kontaminace. Při nižších teplotách vody přežívají déle v toku, jinak se ve vodě prakticky nevyskytují.

Houbovci (*Porifera*)

Houbovci obývají litorál rybníků, menší stojaté vody (tůně, stará ramena řek) a mírně tekoucí vody. V našich vodách bylo nalezeno šest sladkovodních druhů (*Spongilla lacustris*, *Spongilla fragilis*, *Ephydatia fluviatilis*, *Ephydatia mülleri*, *Heteromeyenia baleyi*, *Trochospongilla horrida*).

Houby (*Fungi*)

Ve vodním prostředí žijí dvě skupiny hub. První skupina tráví celý svůj život ve vodním prostředí (oddělení *Chytridiomycota*, *Oomycota* = vodní hypomyceta). Dále se dělí na hypomyceta letní, které mají optimální teplotu růstu 25–30 °C (min. 5–10 °C) a zimní, jejichž optimální teplota růstu je 20 °C (min. od 1°C).

Druhou skupinou jsou půdní houby, jež se vyskytují ve vodním prostředí jen ve formě spor, které se do vody dostanou splachy či vymýváním půdy.

2.7 Tvorba ledových jevů

Proces zamrznání toků je velmi složitý. Záleží na mnoha činitelích. Hlavními faktory vzniku ledových jevů na tocích jsou meteorologické podmínky. Jde hlavně o teplotu vzduchu, oblačnost a sněhové srážky. Avšak i hydraulické podmínky, zejména rychlost proudu vody v toku, jakož i morfologické poměry koryta, vykazují významný vliv na zamrznání toků. Dalšími, ne méně důležitými činiteli, jsou teplota vody či překážka v toku.

Klesne-li teplota vody pod 0 °C začínají se vytvářet na tocích rozličné ledové jevy. Dělí se na jevy v pomalu a rychle tekoucí vodě. V pomalu tekoucí vodě vzniká ledová pokrývka – zámrz.

K zámrz toku může docházet podle *Matouška [1980]* dvojím způsobem:

(A) Zastaví-li se kašovitý led za překážkou na hladině.

(B) Splněním tří následujících podmínek vzniku ledové celiny:

1) jestliže průřezová rychlost vody splňuje podmínku

$$v \leq 0,23 \quad , \quad (2)$$

kde

v – průměrná rychlost vody v průtočném profilu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

2) jestliže platí, že

$$q_0 \leq [1130v + (15 \div 40)w_2](-1,1 - t_v) \quad , \quad (3)$$

kde

w_2 – rychlost větru ve výšce 2 m nad hladinou [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

(koeficient se volí podle šířky hladiny)

t_v – průměrná teplota vody v průtočném profilu

q_0 – výsledná hustota tepelného toku výměny tepla mezi ovzduším a hladinou [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$], která se skládá z hustot tepelných toků:

q_1 – výpar,

q_2 – konvekce,

q_3 – efektivní vyzařování,

q_{4p} – pohlcené přímé sluneční záření,

q_{5p} – pohlcené rozptýlené sluneční záření,

q_8 – atmosférické srážky,

přičemž je $q_0 = q_1 + q_2 + q_3 + q_{4p} + q_{5p} + q_8$,

3) a pokud zároveň platí, že když

$$v \in \langle 0,10; 0,23 \rangle \text{ je } t_v = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

a při

$$v \in \langle 0,02; 0,10 \rangle \text{ je } t_v \leq \frac{0,10}{v} - 1 + x, \text{ ale } t_v \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5)$$

Podmínka, t_v pro $v \in \langle 0,02; 0,10 \rangle$ byla odvozena z předpokladu, že hodnota pravé strany vztahu (3) se nezvětšuje se zmenšující se rychlostí vody.

Hodnota x ve vztahu (5) je dána vztahem:

$$x = \frac{2,1w_2 \left(1 - \frac{1}{v}\right)}{1130v + 21w_2} \quad (6)$$

V rychle tekoucích vodách (mají průměrnou profilovou rychlost $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) vznikají rozmanitější jevy. Rozlišuje se např. břehový led, nánosový led, ledový nápěch, hlubinný led či dnový led, [ČSN, 1984].

3. MĚŘENÍ TEPLOTY VODY

Teplota vody se měří vždy ve stejném místě, pokud možno při vodočtu, pod vodní hladinou. Místo se stanoví na základě důsledného proměření celého příčného profilu toku, které by se mělo provést alespoň dvakrát v roce, a to v létě a v zimě, kdy je očekáván největší rozdíl teploty vody v příčném profilu. Cílem je zvolit místo s průměrnou teplotu.

Dalším z požadavků na měrné stanoviště s přirozeným teplotním režimem je vyloučení zkreslení vlivem vypouštění oteplených odpadních vod. Místa měření proto volíme v dostatečné vzdálenosti od čistíren odpadních vod (ČOV) či výrobních provozů. Vybírá se místo, které leží operativně co nejdále od břehu (alespoň 0,5 m), kde voda stále proudí. V zimě, při zamrzlé hladině vody jde o nejbližší místo s proudící vodou, či se vyseká v ledu otvor.

Teplota vody se v současné době měří dvěma způsoby.

(1) jednorázové odečtení teploty z cejchovaného teploměru.

Měření se realizuje v 7:00 hod ráno SEČ, ve vodoměrných stanicích již v 6:00 hod, rtuťovým nebo elektrickým teploměrem s odporovým nebo termistorovým čidlem.

Teploměr má Celsiovou stupnici s rozpětím od $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stupnice je rozdělena po $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, [Matoušek, 1980]. Někdy se používají teploměry se stupnicí rozdělenou po $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Teploměr v ochranném pouzdře se vloží do válcové nádoby, do níž se při měření nabírá voda. Teploměr i s nádobkou se ponechává v proudící vodě po dobu 2–3 minut. Pokud je velký rozdíl mezi teplotou vody a místem, kde se nacházel teploměr před měřením, ponechává se ve vodě až 5 minut.

Dnes se původní lihové teploměry nahrazují digitálními odporovými platinovými teploměry, které měří teplotu vody kontinuálně.

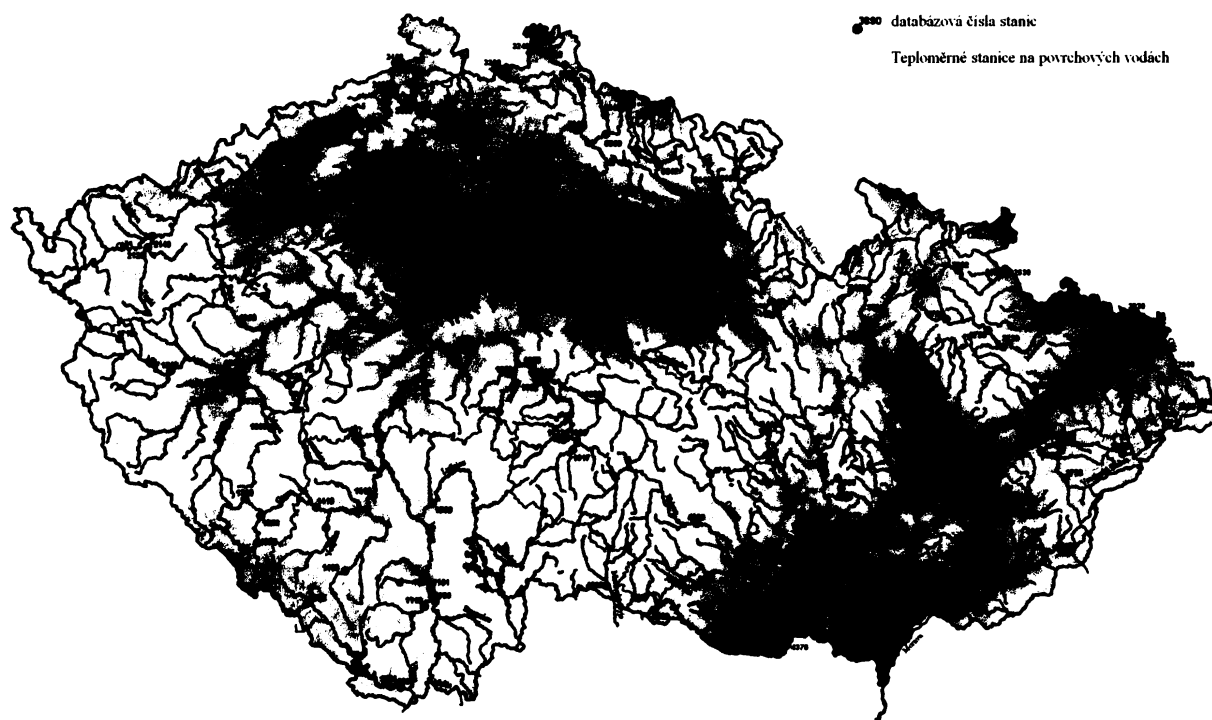
(2) Kontinuální záznamem teploty prostřednictvím automatické stanice.

Příkladem mohou být automatické stanice typu NOEL nebo FIEDLER s teplotními čidly, používanými dnes již na většině stanic Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) nebo teplotní sondy PT 100 s výstupem do automatické měřicí stanice s intervalem záznamu dat 10 min.

Obr. č. 2 znázorňuje aktuální rozmístění teploměrných stanic ČHMÚ v České republice. Jejich seznam je uveden v Příloze (Tab. č. 9).

Teplotu vody měří vedle ČHMÚ i řada dalších institucí a organizací, např. státní podniky Povodí nebo vodárenské objekty.

Obr. č. 2 Stanice měřící teplotu vody v České republice v roce 2008



Zdroj: www.chmi.cz

3.1 Charakteristiky teploty vody v tocích

Jednou z prvních publikací zabývajících se systematicky teplotou vody v tocích byla Čermákova studie [1959] „Teploty vody na moravských tocích“. Jsou v ní zhodnoceny výsledky měření od prvních pozorování v červnu 1897 v teploměrné stanici Kroměříž až po rok 1954. Tentýž autor s kolektivem spolupracovníků vyhodnotil údaje o teplotách vody a ledových jevech na tocích v celostátním měřítku v rámci díla „Hydrologické poměry ČSSR“ [1966].

Dřívější měření teploty vody v jednotlivých vodoměrných profilech často netrvalo déle než 10 let. Směrnice bývalého nadřízeného Hydrografického centrálního úřadu ve Vídni považovala tuto délku měření za dostačující, [Čermák, 1959]. Dnes je již známo, že nelze charakteristiky teplot vody z tak krátkého referenčního období z jednotlivých říčních profilů mezi sebou spolehlivě porovnávat. Zároveň i z matematicko-statistického pohledu a s ohledem na antropogenní ovlivňování tepelného režimu toku se prokázalo, že jde o nedostačující délku pozorování. Zásady, podle níž byla dřívější pozorování prováděna, se také v některých bodech liší od dnešních (např. doba odběru byla zprvu mezi 11. a 12. hod, později mezi 7. a 8. hod.).

Čermák [1959] pracoval ve zmíněné studii s teploměrnými stanicemi, které měly co nejdéle dobu pozorování, minimálně však delší než pět let. Celkem šlo o 36 stanic. Vedle údajů o jejich lokalizaci, byly v publikaci uváděny i další užitečné informace včetně případného tepelného ovlivnění. Zjištěné dlouhodobé roční průměry teploty vody se pohybovaly od 6,5 °C ve stanici Frývaldov do 10,4 °C ve stanici Dolní Věstonice.

Dalšími autory, kteří se detailněji zabývali teplotou vody, byli Patera a Votruba [1983]. V knize „Teplotní a zimní režim toků, nádrží a vodních děl“ analyzovali celostátně vodohospodářskou problematiku teplotních poměrů v říčních systémech a navázali na hlavní závěry ze zmíněné publikace „Hydrologické poměry ČSSR“ [1966]. Podle těchto autorů se dlouhodobé roční průměry teploty vody pohybovaly od 4,5 °C ve stanicích Podbanské a Stratená (nacházejí se na území Slovenska) do 13,3 °C ve stanici Oslavany. Jako charakteristický rys českých a slovenských bylo uvedeno již tehdy jejich nezanedbatelné tepelné ovlivnění člověkem. U 30 ze všech tehdy uvažovaných 127 teploměrných stanic bylo konstatováno významné ovlivnění oteplenými odpadními vodami či vodním dílem.

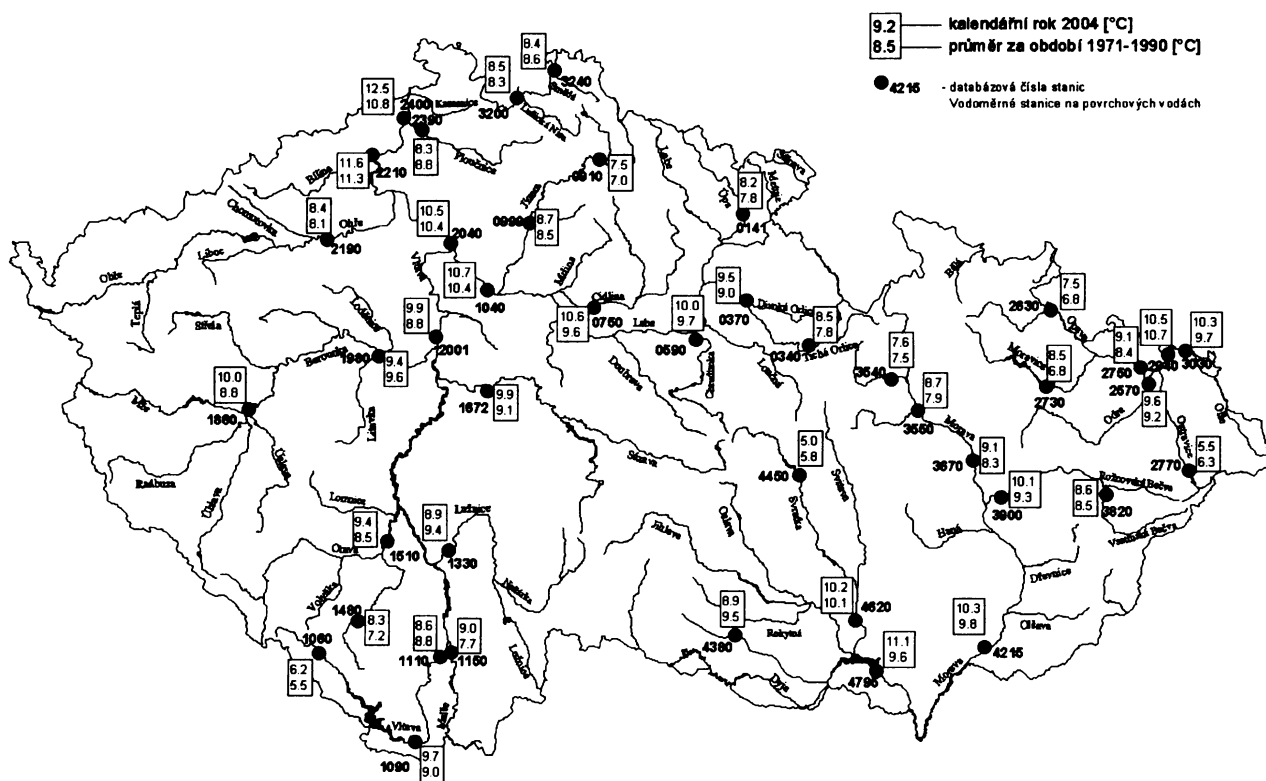
V „Hydrologické ročence České republiky 2004“ [ČHMÚ, 2005] jsou konstatovány tyto závěry:

Průměrná roční teplota ve vybraných vodoměrných profilech se v roce 2004 pohybovala od 5,0 °C ve stanicích Vír na Svatce až po 12,5 °C ve stanici Děčín na Labi, (viz Obr. č. 3) a byla celkově vyšší než průměr za porovnávací období 1971–1990. Průměrná odchylka od dlouhodobého průměru činila 0,4 °C, maximální kladná odchylka byla 1,7 °C (Kružberk pod nádrží na Moravici a Děčín na Labi) a maximální záporná odchylka –0,8 °C (Vír pod vyrovnávací nádrží na Svatce a Šance pod nádrží na Ostravici).

V následující „Hydrologické ročence České republiky 2005“ [ČHMÚ, 2006] se konstatuje:

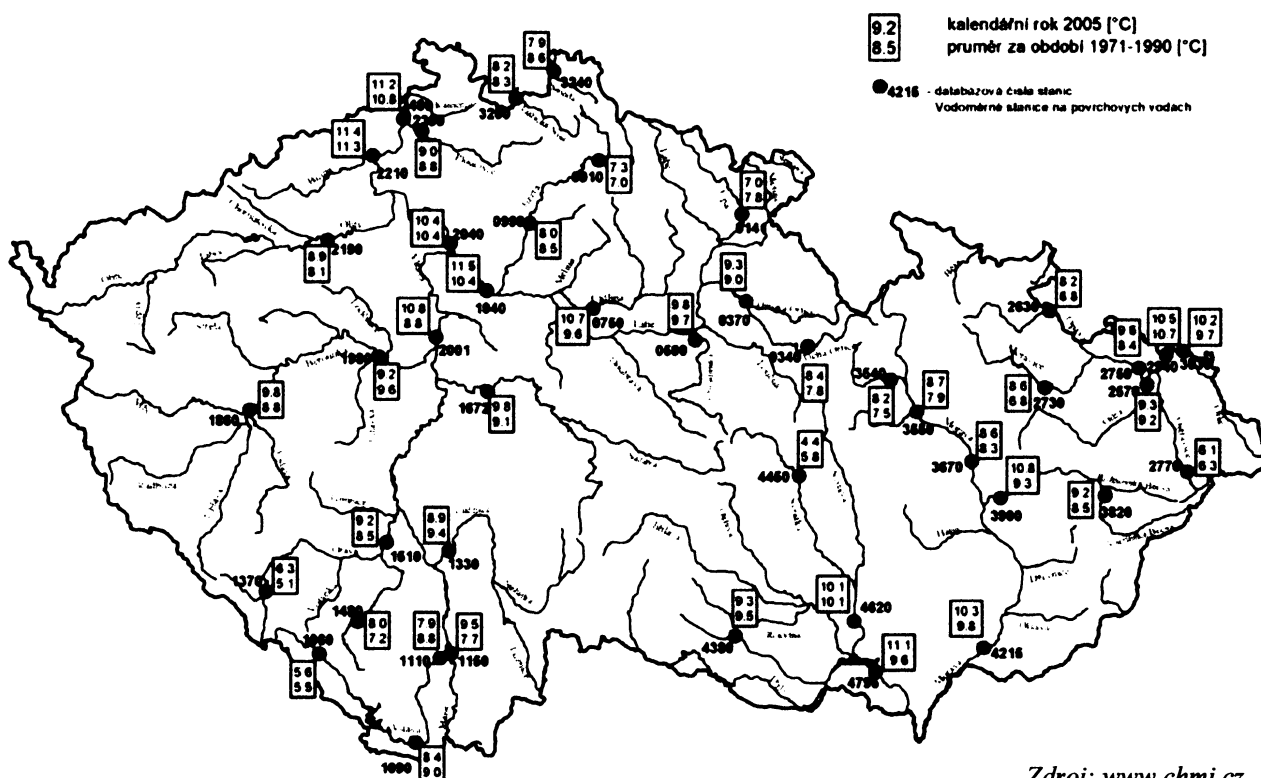
Průměrná roční teplota ve vybraných profilech se v roce 2005 pohybovala mezi 4,4 °C (Vír pod vyrovnávací nádrží na Svatce) a 11,5 °C (Mělník na Labi), přičemž byla vyšší než průměr za pozorovací období 1971–1990 (viz Obr. č. 4). Průměrná odchylka od dlouhodobého průměru činila 0,4 °C, maximální kladná odchylka dosáhla 2 °C (Praha Chuchle na Vltavě) a maximální záporná odchylka –1,4 °C (Vír pod vyrovnávací nádrží na Svatce).

Obr. č. 3 Průměrná teplota vody toků v roce 2004 a průměr z let 1971–1990 v České republice



Zdroj: www.chmi.cz

Obr. č. 4 Průměrná teplota vody toků v roce 2005 a průměr z let 1971–1990 v České republice



Zdroj: www.chmi.cz

Z výše zmíněného je patrné, že jednotliví autoři a publikace se zabývali teplotou vody v různých teploměrných profilech za nestejně dlouhá období. Nelze proto jednotlivé závěry mezi sebou adekvátně porovnávat. Přesto se dá zhruba usuzovat, že rozdíly ročních charakteristik teploty vody se pohybují v řádech desetin °C či maximálně okolo 1 °C

Podle údajů uváděných na serveru Ministerstva zemědělství ČR vzrostla za posledních 30 let teplota vody na našich tocích v průměru o 1 °C.

3.2 Teplotní klasifikace toků ČR

Matoušek [1980] dělí toky do pěti respektive šesti kategorií podle průměrné roční teploty vody, rozkvyvu průměrných měsíčních teplot v roce a průměrné teploty vody ve vegetačním a nevegetačním období. Tato klasifikace je obdobná slovenské klasifikaci řek podle *Horváthové [1969]*, která vychází z hodnot naměřených ve 101 teploměrných stanicích. (Tab. č. 5)

Tab. č. 5 Teplotní klasifikace toků

Skupina	Rozpětí teplot vody [°C] u				
	průměrné roční teploty vody	rozkyvu průměrných měsíčních teplot v roce	maximálních průměrných měsíčních teplot	dlouhodobého průměru za období	
				nevegetační	vegetační
1	5,4 – 7,0	10,4 – 15	11,3 – 15,1	1,9 – 2,8	8,8 – 11,9
2	7,1 – 8,5	11,7 – 16,6	13,4 – 17,1	2,4 – 4,2	10,8 – 14,0
3	8,6 – 10,0	16,0 – 19,9	16,9 – 20,6	2,6 – 4,2	13,4 – 16,3
4	10,1 – 11,9	19,2 – 20,2	20,9 – 22,3	3,5 – 5,5	16,7 – 18,5
5a	6,6 – 10,3	10,6 – 19,5	11,7 – 20,2	2,6 – 6,0	9,1 – 16,4
	(6,6 – 9,2)	(0,6 – 14,9)	(11,7 – 16,9)	(2,6 – 6,0)	(9,1 – 14,4)
5b	8,8 – 13,3	14,7 – 20,1	17,6 – 24,5	3,3 – 7,7	14,0 – 19,5

Zdroj: *Matoušek, 1980*

První skupina zahrnuje horské toky. Druhou skupinu tvoří toky nižších pohoří a podhorské úseky větších toků. Do třetí skupiny patří dolní úseky středně velkých toků a střední a dolní úseky velkých toků (mimo jižní Moravu). Do čtvrté skupiny přísluší velké

nížinné toky jižní Moravy. Skupinu 5a tvoří toky, které jsou teplotně ovlivněny nádržemi na nich vystavěnými. Hodnoty v závorce vyjadřují rozpětí, neuvažují-li se měření ze stanic Štěchovice a Vrané nad Vltavou z doby před vybudováním nádrží vltavské kaskády a Brněnské přehrady (stanice Brno–Pisárky). Do skupiny 5b náleží úseky toků, které jsou ovlivněny oteplenými odpadními vodami.

V praxi se častěji používá dělení vod podle požadavků na jejich užívání, které uvádí Příloha č. 3 k Nařízení vlády č. 61/2003 Sb. – Imisní standardy ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod v tabulce č.1, viz Tab. č. 6.

Tab. č. 6 *Imisní standardy: ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod*

Ukazatel	Značka nebo zkratka	Jednotka	Požadavky pro užívání vody (celoroční průměr) ^{xi)}				Obecné požadavky (C90) ^{x)}
			vodárenské účely (§ 31 zákona) ⁱⁱ⁾	koupání (§ 34 zákona) ⁱⁱ⁾	lososové vody (§ 35 zákona) ⁱⁱ⁾	kaprové vody (§ 35 zákona) ⁱⁱ⁾	
Teplota vody	t	°C	11		11	15	25 ⁱ⁾

Zdroj: Příloha č. 3 k Nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

Poznámky:

ⁱ⁾ Přírůstek teploty vody v toku na konci mísící zóny vlivem vypouštěných oteplených vod nesmí být vyšší než 3 °C. Konec mísící zóny je místo, kde se teploty vody u obou břehů vyrovnají.

^{xi)} Celoroční aritmetický průměr.

^{x)} Hodnota, která je dodržena, nebude-li roční počet vzorků nevyhovujících tomuto standardu větší než 10 % (hodnota s pravděpodobností nepřekročení 90 %).

ⁱⁱ⁾ Zákon o vodách č. 254/2001 Sb. ze dne 28.7.2001.

4. TEPLOTNÍ REŽIM VODNÍCH TOKŮ

Pod pojmem teplotního a tepelného režimu vodního toku se rozumí teplotní a tepelné stavy v toku a jejich vývoj v čase, [Votruba, Patera, 1983].

4.1 Činitelé ovlivňující teplotní režim vodních toků

Teplotní režim vodních toků je závislý na vzájemně se prolínajících a doplňujících se činitelích, které lze rozdělit do pěti základních skupin.

Jde o :

- (1) hydrologické a hydraulické poměry (dynamika vody),
- (2) klimatické poměry,
- (3) morfologické poměry,
- (4) biochemické procesy ve vodě,
- (5) činnost člověka.

4.1.1 Hydrologické a hydraulické poměry

V pramenných oblastech toků jde hlavně o výron vody z podzemí. Pochází-li voda z větších hloubek, má dosti stálou teplotu vody během celého roku. Je to teplota půdních vrstev, jimiž tato voda prolíná a bývá zpravidla poněkud vyšší než průměrná teplota vzduchu. Odchyluje-li se teplota vývěrů příliš od tohoto pravidla, jde o prameny termální nebo prosáklou vodu povrchovou, [Bratránek, 1961].

Významné však nejsou jen napájecí poměry v pramenné oblasti, nýbrž i podélné výrony vody do koryta toku, které mohou způsobit významné lokální změny.

Mezi hydrologické a hydraulické poměry patří dále velikost průtoku, rychlost a hloubka vody, velikost a počet přítoků či způsob proudění vody.

Pohyb vody v toku je dán gravitační silou, z čehož vyplývá, že závisí na sklonu dna jeho koryta. Voda se vlivem konkrétních místních podmínek promíchává. Většinou se směrem z vyšších poloh do nižších postupně otepluje a dochází k výraznější teplotní stratifikaci.

Ve vyšších horských polohách, kde je velký spád dna vodního koryta, dochází k turbulentnímu proudění. To má za následek, že teploty vody jsou v příčném směru koryta toku velmi vyrovnané.

Ve středních polohách dochází ke zpomalování pohybu vody.

V nížinách většinou převažuje laminární proudění nad turbulentním a vznikají rozdíly teploty vody mezi dnem a hladinou.

Na menších tocích, které mají u břehů mělčiny a větší nerovnosti dna, může být rozdíl mezi teplotou vody u břehů a v proudnici. V létě může být voda u břehů teplejší a na podzim naopak chladnější a to i o několik stupňů, jak udává *Kemel [1996]*.

Ve více či méně oddělených částech toku (např. v zátokách či slepých ramenech) může docházet k podobnému teplotnímu zvrstvení, jaké je známé v údolních nádržích s krátkou dobou zdržení.

4.1.2 Klimatické poměry

Jsou dány geografickou polohou, čili zeměpisnou šířkou, zeměpisnou délkou a kontinentalitou (resp. oceanitou) vodního toku. Jde hlavně o teplotu vzduchu, intenzitu slunečního záření, srážky a rychlost větru, s čímž souvisí výpar a kondenzace vodních par.

4.1.3 Morfologické poměry

Nejdůležitější morfologické poměry jsou nadmořská výška, hloubka a šířka údolí (např. zastínění koryta toku údolními svahy), šířka koryta a jeho sklon, vegetační kryt a krasové útvary.

4.1.4 Biochemické procesy ve vodě

Chemické a biologické přeměny organických látek ve vodě, mezi něž patří např. fotosyntéza, respirace nebo mikrobiologický rozklad organických látek.

4.1.5 Činnost člověka

Umělé zásahy člověka do tepelného režimu, představuje především výstavba nádrží či vypouštění oteplených odpadních vod do toku.

4.2 Časové změny teploty vody

4.2.1 Denní kolísání teploty vody

Jedním z hlavních faktorů, který určuje teplotu vody v toku, je vodnost řeky. Čím je vodní tok vodnější, tím menší má výkyvy teploty vody během dne.

Řeky na území České republiky mají denní (diurnální) amplitudu teploty vody v létě 1–2 °C. Malé mělké horské toky, jež jsou dokonale provzdušněny, čímž se rychleji prohřívají nebo naopak prochlazují, mohou mít výkyv teploty během dne až 3 °C.

Průměrná denní teplota vody je základem pro posuzování teplotního režimu toku. Teplota říční vody se blíží hodnotě této charakteristiky zhruba okolo 11. hod. dopoledne. Dá se i vypočítat:

- (1) jako aritmetický průměr z několika měření během dne, nebo
- (2) jako poloviční hodnota součtu maximální a minimální teploty zjištěné maximo–
–minimálním teploměrem.

Užitečným doplňkem k charakteristice denního chodu teploty vody v povrchových tocích je četnost výskytu a trvání určitých teplot vody. Tato charakteristika se odvozuje z čar překročení a z tabulek četností výskytu.

V řekách rovin a pahorkatin se nejčastěji se vyskytuje teplota vody v intervalu 0–5 °C. Co se týče vyšších teplot, jsou častější teploty v rozsahu 15–20 °C, než v rozmezích 10–15 °C či 5–10 °C. S rostoucí nadmořskou výškou ubývá teplot vyšších a roste četnost teplot nižších.

V souvislosti s trváním určitých denních teplot se mění i míra jejich rozkolísanosti. V našich přírodních podmínkách se tento ukazatel zmenšuje s rostoucí nadmořskou výškou při současném poklesu průměrné roční teploty, [Kemel, 1996].

4.2.2 Roční kolísání teploty vody

Kolísání teploty vody během roku bývá větší než denní. Pohybuje se až okolo 20 °C. Srovnáme-li jej s průběhem teploty vzduchu, zjistíme, že se v dlouhodobém průměru příliš neliší. Největší rozdíly mezi nimi se vyskytují v zimních měsících (leden, únor), kdy teplota vzduchu klesá pod bod mrazu, zatímco teplota vody se udržuje něco málo nad 0 °C.

Roční chod teploty vody řek lze vyjádřit průměrnými měsíčními teplotami. Z jejich hodnot zjistíme, ve kterém měsíci je voda nejchladnější či naopak nejteplejší a zároveň se dá odvodit i míra vyrovnanosti (resp. nevyrovnanosti) ročního chodu teploty.

Jak dokazují měření a výpočty teploty vody, bývá dosahováno minimální teploty vody v lednu a maximálních hodnot v červenci. S největší intenzitou stoupá teplota vody v dubnu a květnu, naopak pokles je největší v září a říjnu.

Průměrnou roční teplotu vody lze na neovlivněných tocích přibližně stanovit na základě známé nadmořské výšky s přesností $\pm 0,6$ °C, viz rovnice (7).

$$\bar{T}_{vody} = 21,65 - 5,65 \log H \quad , \quad (7)$$

kde

\bar{T}_{vody} – průměrná roční teplota vody [°C]

H – nadmořská výška [m n. m.]

4.2.3 Dlouhodobé kolísání teploty vody

Určuje se podle změn ročních průměrných teplot vody. Toto kolísání je v řádu několika málo °C, ale i tak lze charakterizovat roky jako mimořádně chladné, průměrně teplé, teplé a mimořádně teplé.

5. TEPELNÉ ZNEČIŠTĚNÍ VODNÍCH TOKŮ

Cílem této kapitoly není vyjmenovat a popsat všechny možné zdroje tepelného znečištění řek. Prvořadou snahou je nastínit s tím spojenou problematiku a ilustrovat ji několika vybranými příklady.

5.1 Definice tepelného znečištění

Teplotní změny vyvolané vypouštěním oteplených vod do toku ovlivňují, většinou negativně, v něm probíhající fyzikální, chemické, biologické, biochemické, bakteriologické a hydrologické procesy. Nazývají se souhrnně jako tepelné znečištění toku. Dochází k němu v případech, kdy vratná voda po využití má vyšší teplotu než voda v přírodním prostředí.

Jak již bylo řečeno v kapitole č.3, je maximální přípustnou hodnotou, od které jde již při jejím dalším narůstání o tepelné znečištění povrchových vod, podle přílohy č. 3 k Nařízení vlády č. 61/2003 Sb. – Imisní standardy ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod, teplota vody 25 °C. Emisní limity, při povolování vypouštění průmyslových odpadních vod do vod povrchových, stanovuje podle druhu výroby příslušný vodoprávní úřad a to maximálně do výše uvedených emisních standardů.

5.2 Zdroje tepelného znečištění

Hlavními zdroji tepelného znečištění povrchových vod jsou následující antropogenní aktivity.

- (1) Tepelné a jaderné elektrárny a to hlavně s průtočným systémem chlazení.
- (2) Další chladicí systémy průmyslových závodů, jedná se především o ocelárny, slévárny, válcovny a některé provozy potravinářského průmyslu (např. pivovary, cukrovary a lihovary) nebo chemického průmyslu.
- (3) Výrobní a provozní systémy průmyslových závodů.
- (4) Přehradní nádrže, které neovlivňují tepelný režim řeky jen přívodem oteplených vod, ale v letních měsících naopak i přívodem studenějších spodních vod z nádrže.
- (5) Čistírny odpadních vod.

Státní podnik Povodí Moravy vypracoval vodohospodářskou zprávu o celém území, které spravuje. Ve třetí kapitole tohoto elaborátu je hodnocen vliv lidské činnosti na povrchové vody. Pro získání představy o velikosti tohoto vlivu se uvádějí evidované zdroje tepelného znečištění vodních toků v povodí Moravy, které tato kapitola obsahuje, (Tab. č. 7).

Tab. č. 7 Evidované zdroje tepelného znečištění v povodí Moravy v roce 2002

Uživatel a místo vypouštění odpadních vod		Roční vypouštěné množství [tis. m ³ .rok ⁻¹]	Roční vypouštěné množství oteplené vody [tis. m ³ .rok ⁻¹] z celkového množství
číslo vodního útvaru	název		
5	Olšanské papírny a.s. Jindřichov	216,1	216,1
8	ZKL Hanušovice	16,6	3,1
8	OP Papírna Olšany	3154,2	116,8
11	Rapotínské sklárny Rapotín	201,1	60,0
11	Velosteel Trading Loučná nad Desnou	129,5	37,8
31	ŽDB Kamenná	12,7	1,0
37	Sklárny Moravia Úsobrno	24,3	17,3
41	Olšanské papírny Vlčice	209,4	209,4
47	Unex Uničov	365,9	3,7
49	Granitol Moravský Beroun	7,3	7,1
51	KD Transport Moravia Chains Hlubočky	53,6	53,4
53	Dalkia – Teplárna Olomouc (jez)	333,0	319,2
53	Papcel Litovel	21,7	1,1
86	Gumárny Zubří	367,2	367,2
94	LG.Philips Displays Technology Center Hranice	628,0	26,5
94	Cement Hranice a.s. – chlazení cement. mlýnů	35,5	35,5
97	Sigma Group Lutín	47,6	47,6
148	HAMÉ Babice ČOV	379,2	305,0
152	MESIT holdig a.s. Uh.Hradiště, ČOV	124,2	2,0
156	Odbytové družstvo BK Bojkovice	14,4	2,4
169	Maryša Rohatec ČOV (provoz ukončen v r. 2004)	74,3	9,0
169	KM Beta Bzenec – Přívoz ČOV	15,9	1,0

Zdroj: www.povodimoravy.cz

5.2.1 Vliv tepelných elektráren

Základním principem vzniku elektrické energie v uhelných elektrárnách je přeměna tepelné energie vzniklé při spalování uhlí na kinetickou a posléze na elektrickou energii.

Rozemleté uhlí se spolu se vzduchem vhání do hořáků kotle, v němž se nachází chemicky upravená voda. Nejprve se v ekonomizéru voda předeheje, poté vstupuje do výparníku, kde se mění na páru. Vzniklá pára však obsahuje příliš málo energie, a proto je dále ohřívána spaliny na teplotu až 550 °C. Tato tzv. ostrá pára proudí do turbíny a předává svou energii lopatkám, které turbínu roztočí.

Vzhledem k tomu, že je turbína pevně spojena s generátorem, roztáčí se i ten a přeměňuje mechanickou energii na elektrickou. V elektrárenském generátoru rotuje elektromagnet, jehož vinutí, umístěné na statoru okolo něj indukuje napětí a proud. Celé soustrojí se otáčí rychlostí 3000 otáček za minutu. Pára vycházející z turbín má vlivem předané energie nižší teplotu a tím i tlak. Prochází do kondenzátoru, kde zkondenzuje. Odtud je voda vedena zpět do kotle a celý cyklus začíná znovu.

Pára vstupující do kondenzátoru prochází chladícími trubkami, přes které teče chladící voda. Při chlazení vodou z řeky se spotřebuje až 60 kg vody na 1 kg páry. Při cirkulačním chlazení v chladících věžích se 3–4 % chladící vody odpaří, a proto se musí cirkulující chladící voda doplňovat.

Chladící věže jsou komíny, které mají hyperboidní tvar a výšku často okolo 100 m (např. Tušimice 96 m či Chvaletice 100 m). Každý blok má většinou jednu chladící věž. Na vrcholu věže jsou žlaby, kterými se voda rozvede po obvodu a poté padá a rozstříkuje na mřížoví, které vyplňuje chladící věž. Ve spodní části jsou otvory, jimiž přirozeným tahem proudí vzduch proti vodě a tím ji chladí. Ochlazená voda je shromažďována v nádrži pod věží. Pro větší účinnost mohou být připojeny ventilátory.

Účinnost chlazení v chladících věžích je dána především jejím konstrukčním řešením a konkrétním stavem počasí. Z klimatických jevů jde především o teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a atmosférický tlak, či rychlost větru. Pro ilustraci je uvedena Tab. č. 8, z níž je vidět (zanedbáme-li rozdíl v tlaku vzduchu) účinnější chlazení elektrárny Prunéřov I. Oproti Tušimicím či Chvaleticím.

Tab. č. 8 *Teplota vychlazené vody při daném stavu počasí*

Elektrárna	Teplota vychlazené vody [°C]	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Atmosférický tlak vzduchu [mm Hg]
Tušimice	22,5	15	70	735,5
Pruněrov I.	19,2	15	70	750
Chvaletice	24	15	70	není uvedeno

Zdroj: www.cenia.cz

Klasické elektrárny se dělí na elektrárny kondenzační a na teplárny. Kondenzační elektrárny slouží pouze k výrobě elektřiny, tzn. že veškerá pára přivedená do turbíny po vykonání práce zkondenzuje na vodu v kondenzátoru. Teplárny na rozdíl od kondenzačních elektráren dodávají kromě elektrické energie i energii tepelnou na vytápění, ohřev vody apod. Tepelná energie je v nich lépe využita.

5.2.2 Vliv jaderných elektráren (JE)

V České republice se nacházejí dvě jaderné elektrárny. Jaderná elektrárna Temelín (JETE), která se nachází v povodí Vltavy a jaderná elektrárna Dukovany (JEDU) v povodí Jihlavy. Ani jedna z těchto elektráren nevypouští oteplené vody přímo do zmíněných řek. Odpadní vody z JETE ústí do vodního díla Kořensko, odpadní vody JEDU do nádrže Mohelno. Jejich tepelný vliv je však přesto patrný i dále po toku.

Princip výroby elektrické energie v jaderné elektrárně je podobný jako u tepelné. Štěpením uranu ($^{235}_{92}\text{U}$) vzniká velké množství tepla, které v primárním okruhu zahřívá vodu. Tato voda ve výměníku (kondenzátoru) předá tepelnou energii vodě v sekundárním okruhu, jež má nižší tlak, a proto se přemění v páru. Pára otáčí parní turbínou, která pohání generátor. Z turbíny postupuje pára s nižším tlakem a teplotou do kondenzátoru, kde odevzdá zbytek tepelné energie chladicí vodě, zkapalní a přechází do primárního okruhu. Teplota chladicí vody se následně sníží v chladicí věži.

Jaderná elektrárna Dukovany

JEDU tvoří dva bloky, každý o dvou tlakovodních reaktorech (PWR). (Projektové označení těchto reaktorů je VVER 440/213, což znamená, že se jedná o Vodou chlazený, Vodou moderovaný Energetický Reaktor.) Tepelný výkon jednoho reaktoru činí 1375 MW a vykazuje elektrický výkon 440 MW.

Odpadní vody vypouštěné z JEDU jsou odváděny Skryjským potokem do přehradní nádrže Mohelno. Teplota vrácené vody se v roce 1996 pohybovala v rozsahu 11,8–25 °C s průměrnou hodnotou 18,6 °C. V roce 1997 se teplota vypouštěné odpadní vody pohybovala od 11 °C do 24,2 °C s průměrnou hodnotou 18,2 °C. Naopak teplota odebírané vody pro JEDU se v roce 1996 pohybovala mezi 4 °C až 19,6 °C, s průměrnou hodnotou 11,5 °C.

Díky naředění chladících vod v nádrži Mohelno se vliv JEDU na dolní tok řeky Jihlavy projevuje jen mírně, [Kočková, 2001].

Ve sledovaném období 2002–2006 byly odpadní vody ve srovnání se složením vody čerpané do JEDU zatíženy v některých parametrech více než dvojnásobně. Jedním z těchto parametrů byla i teplota vody. Mírně se to projevilo i v řece Jihlavě pod nádrží Mohelno.

Jaderná elektrárna Temelín

JETE tvoří dva bloky, každý je vybaven jedním tlakovodním reaktorem o tepelném výkonu 3000 MW a elektrickém výkonu 1000 MW. (Jde o heterogenní, tlakovodní energetické reaktory VVER 1000.)

Voda zkoncentrovaná odparem v chladicích věžích je průběžně vypouštěna a zpětně doplňována. Společně s komunálními odpadními vodami jsou všechny odpadní vody vypouštěné z JETE svedeny do sběrné jímky o objemu 500 m³. Odtud jsou odváděny sběračem přes malou vodní elektrárnu (umístěnou ve stavebním objektu JETE v Kořensku) do bloku vodní elektrárny ponořeného vodního stupně Kořensko, kde po vyústění na savky turbín dojde k provzdušnění a promíchání s vltavskou vodou, [Hanslík, 1996]. Díky poměrně velkému průtoku vody v řece Vltavě, jsou odpadní vody silně ředěny. Mezi lety 2000–2004, kdy byl prováděn monitoring, byly odpadní vody nejméně ředěny v letních měsících (minimum se vyskytlo 30krát). Naopak v zimních měsících byly naředěny i více než 200krát.

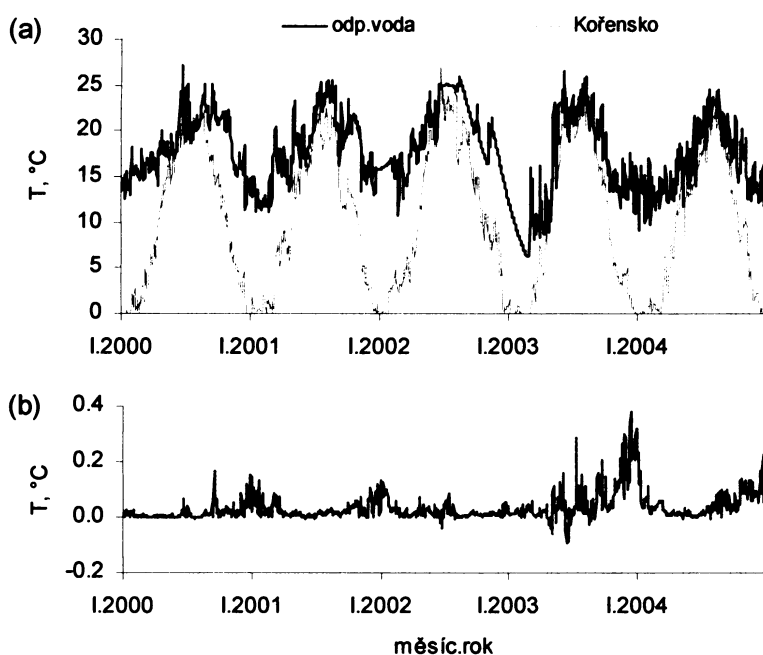
Teplota odpadních vod vypouštěných JETE vykazovala roční cyklus s nejmenšími hodnotami v zimních obdobích (8–12 °C) a největšími hodnotami v létě (20–25 °C). Letní hodnoty byly přibližně shodné s teplotou vody v řece. Bilančním výpočtem bylo zjištěno maximální denní oteplení vody ve Vltavě v důsledku vypouštění odpadních vod z JETE o 0,4 °C (13. prosince 2003). V měsíčních průměrech se teplota vody ve Vltavě zvyšovala

v zimních měsících o 0,1 až 0,15 °C, v letních měsících obvykle o méně než 0,05 °C, [Mlejnková, 2005].

Jak uvádí Hanslík [1996], při minimálním zůstatkovém průtoku ve Vltavě by docházelo ke vzrůstu teploty až o 0,5 °C. Ve srovnání s meziroční variabilitou ročního chodu teploty vody, která se v profilu Kořensko pohybuje nejčastěji v rozsahu od 3 do 8 °C, je toto zvýšení teploty nevýznamné, [Mlejnková, 2005].

Pro posouzení vlivu oteplených odpadních vod z JETE na Vltavskou kaskádu, bylo použito bilančního modelu. Z výpočtů vyšlo, že v kritickém období, za něž považujeme období vysokých teplot a malých průtoků vody, dojde u odtoku z přehradní nádrže Orlík ke zvýšení teploty vody o 0,3 °C, při tom uvažovaný výkon JETE byl 2000MW.

Obr. č. 5 (a) Denní hodnoty teploty odpadní vody a vody ve Vltavě a (b) přírůstek teploty vody ve Vltavě v důsledku vypouštění odpadní vody spočtený tepelnou bilancí



Zdroj: Mlejnková, 2005

Teplota vypouštěné vody při provozu obou dvou bloků JETE je 32,3 °C.

5.2.3 Vliv cukrovarů

Přestože tradice cukrovarnického průmyslu upadá, stále se cukrovary řadí mezi významné zdroje znečištění povrchových vod. Vliv znečištění je o to významnější, že největší část odpadních vod se vypouští na podzim, kdy je slabší samočisticí schopnost toků.

Jedním z druhů odpadních vod cukrovarů jsou i oteplené vody z chladících systémů. Chladí se brýdové páry vzniklé při odpařování cukerných roztoků, či samotné cukerné roztoky ve varně.

Optimální teplota chladící vody je 13–17 °C, [Kastner, 1980].

5.2.4 Vliv přehradních nádrží

Teplotním vlivem výstavby vodních děl na tocích se u nás zabýval především *Bratránek [1961]*, který jako první popsal systematicky některé procesy, k nimž dochází na toku pod přehradou.

Při zkoumání vlivu nádrže na teplotu vody v řece je důležité porovnávat teplotu vypouštěné vody pod hrázi s teplotou vody nad nádrží (na konci vzdutí) a nikoliv s teplotou vody na její hladině. Pokud bychom tak neučinili, mohl by zjištěný rozdíl oproti skutečnosti být o 2–3 °C větší. Vlivem slunečního ozařování hladiny v přehradní nádrži, je zde totiž voda teplejší.

Teplotu vody vytékající z nádrže lze ovlivnit polohou a tvarem výpustných zařízení, což závisí na účelu nádrže, čili na hospodaření a manipulaci s vodou nádrží. Je-li výpustný objekt umístěn při hladině a je-li odtok malý a klidný, vytéká v letních měsících voda z povrchu přehradní nádrže teplejší, než by vytékala z vrstev spodních. Pro značnou složitost a nemožnost využití tohoto způsobu odběru vody pro provoz vodní elektrárny se jej často nevyužívá. Jako příklad lze uvést přehradní nádrž u Husince na Blanici. *Bratránek [1961]* zjistil, že účinek odběrných zařízení u hladiny znamenal průměrné roční oteplení v dolní trati toku asi o 1,3 °C.

Obecně lze u nepříliš mělkých nádrží říci, že v letních měsících vytéká voda chladnější a v zimních měsících vytéká voda teplejší. Z toho vyplývají následující příznivé a nepříznivé dopady.

(a) Nepříznivé dopady

- špatný růst vegetace, využívá-li se voda na závlahy,
- znesnadnění koupání při rekreaci až na desítky km v dolní trati toku pod nádrží,
- tvorba mlhy a jinovatky v době mrazů,
- ovlivnění přirozených procesů v toku.

(b) Příznivé dopady

- vodárenství,

- zvětšení účinku při chlazení,
- teplejší voda v zimě zabraňuje tvorbě a chodu ledů a námrazy, prodlužuje plavební, období a umožňuje zimní provoz otevřených přivaděčů.

Na teplotu vody vytékající z nádrže mají zásadní vliv její plocha a hloubka a doba zdržení vody v nádrži, která vyjadřuje závislost velikosti nádrže na průtoku. Čím větší je doba zdržení, tím větší je i zásah do teplotního a ledového režimu toku pod nádrží, [Matoušek, 1980]. Teplotní režim toku tedy nejvíce ovlivňují hluboké nádrže s velkou dobou zdržení.

5.2.5 Vliv čistíren odpadních vod (ČOV)

Čistírny odpadních vod pracují obvykle na základě třech technologických stupňů. Prvním z nich je mechanické čištění (česle, sedimentace, lapáky tuků, olejů atp.), druhým biologické čištění a poslední terciární stupeň čištění.

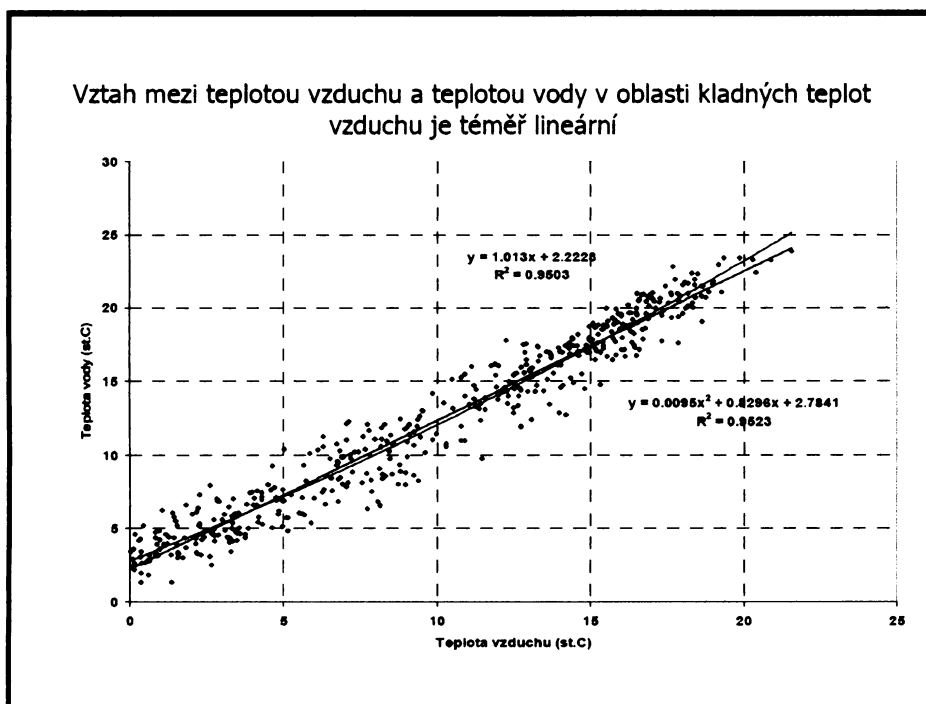
Biologické čištění odpadních vod probíhá za aerobních či anaerobních podmínek. Ve druhém případě je pro optimální rozklad organických látek potřebná teplota 35–45 °C. Voda se dále nikde nechladí, a proto představují ČOV jeden z hlavních zdrojů tepelného znečišťování toků.

5.3 Vliv změny klimatu na teplotu říční vody

Téměř od počátku 20.stol. je zaznamenáván globální nárůst teploty vzduchu o 0,4–0,8 °C. Od roku 1976 vzrostla intenzita teplotních změn až na 2 °C za 100 let. Ve zprávě Mezinárodního panelu o změně klimatu – IPCC (International Panel about Climate Change) z roku 2007 uvádějí Jones a Moberg [IPCC, 2007] nárůst teploty od roku 1901 do 2005 o 0,9 °C a od roku 1976 do 2005 o 0,41 °C, přičemž růst je rychlejší právě ve střední Evropě (a dále v horských oblastech a severovýchodní Evropě).

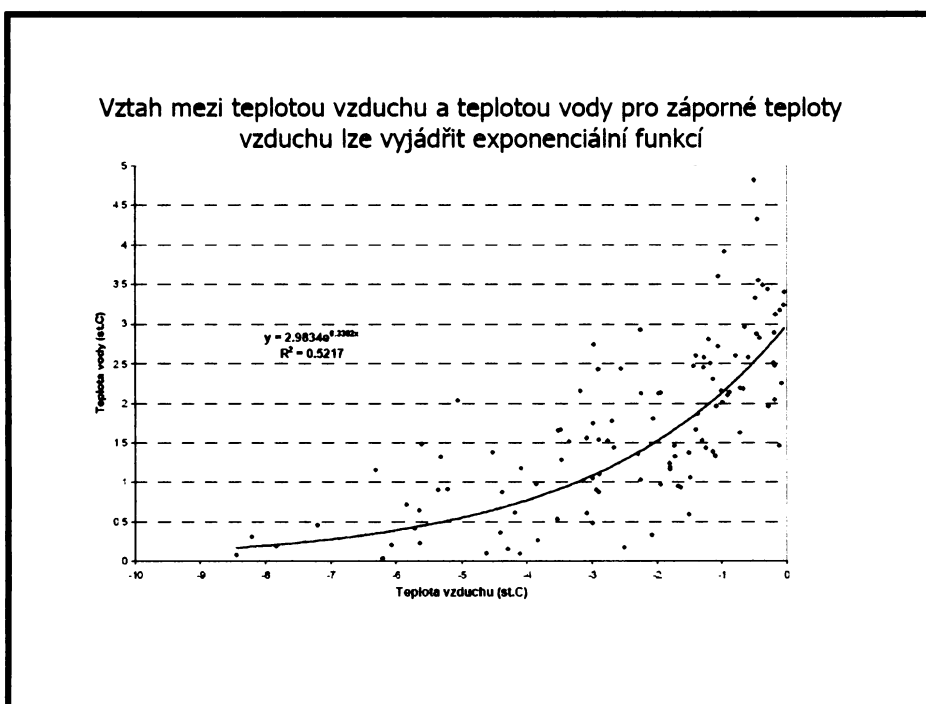
Vztahy mezi teplotou vzduchu a teplotou vody dokreslují Obr. č. 6, 7 a 8.

Obr. č. 6 Vztah mezi teplotou vzduchu a teplotou vody v oblasti kladných teplot vzduchu pro Labe v Brandýse nad Labem



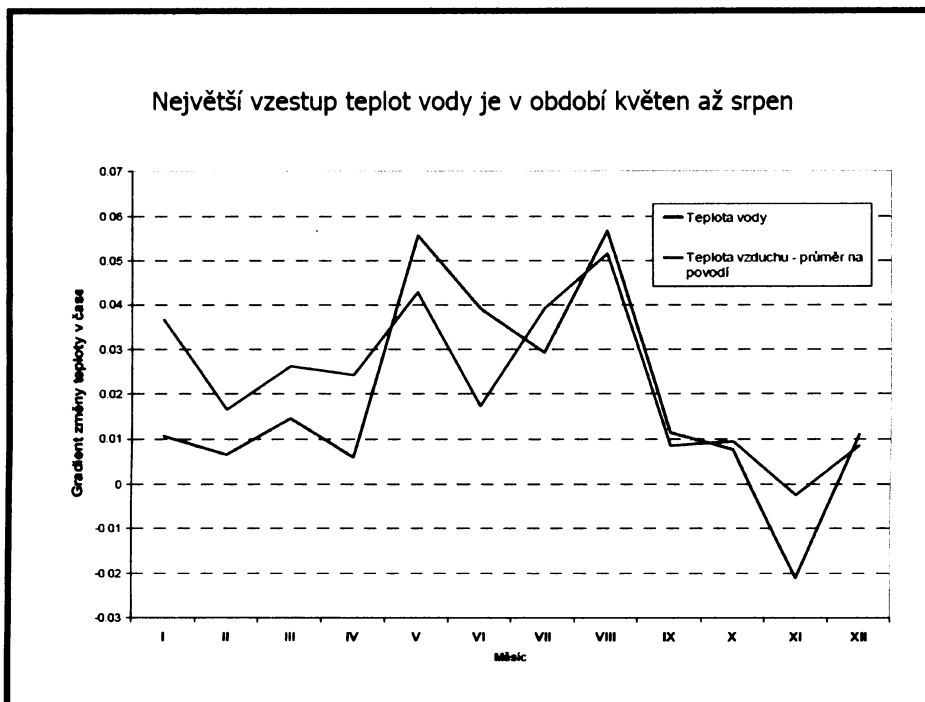
Zdroj: Kašpárek, 2007

Obr. č. 7 Vztah mezi teplotou vzduchu a teplotou vody v oblasti pro záporné teploty vzduchu pro Labe v Brandýse nad Labem



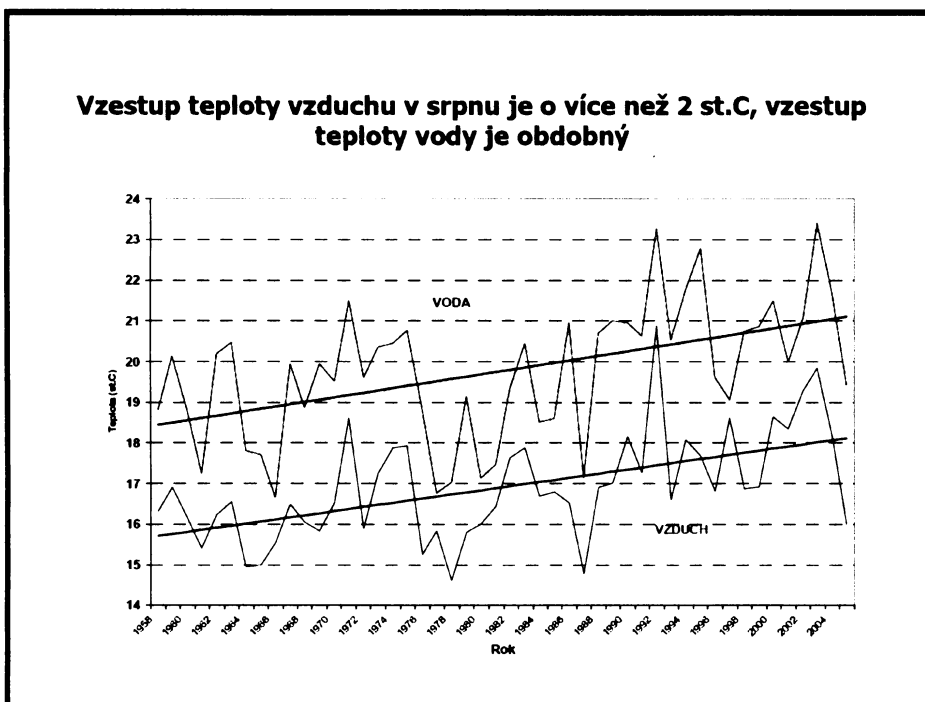
Zdroj: Kašpárek, 2007

Obr. č. 8 Průměrné změny teploty vzduchu a vody v ročním cyklu pro Labe v Brandýse nad Labem



Zdroj: Kašpárek, 2007

Obr. č. 9 Průměrná teplota vzduchu a vody v srpnu 1958–2006 pro Labe v Brandýse nad Labem



Zdroj: Kašpárek, 2007

Mezi průměrnou roční teplotou vzduchu a vody existuje závislost (Obr. č. 9), kterou pro bývalé Československo uvedla *Horváthová [1968]* s přesností na ± 1 °C

$$\bar{T}_{vody} = 0,89\bar{T}_{vzduchu} + 1,3 \quad , \quad (8)$$

kde

\bar{T}_{vody} – průměrná roční teplota vody [°C]

$\bar{T}_{vzduchu}$ – průměrná roční teplota vzduchu [°C]

Jelikož podobnou závislost v povodí Labe prokázal i *Kašpárek [2007]* (viz Obr. č. 9), lze předpokládat, že při oteplování ovzduší může docházet k rozšiřování tepelného znečištění říčních úseků, pokud nebudou učiněna vhodná opatření.

Monitoring z posledních dekád signalizuje, že klesá délka trvání sněhové pokrývky i její výška. Výstupy z aplikovaných klimatických a hydrologických modelů naznačují, že bude docházet i ke změně v rozložení srážek během roku.

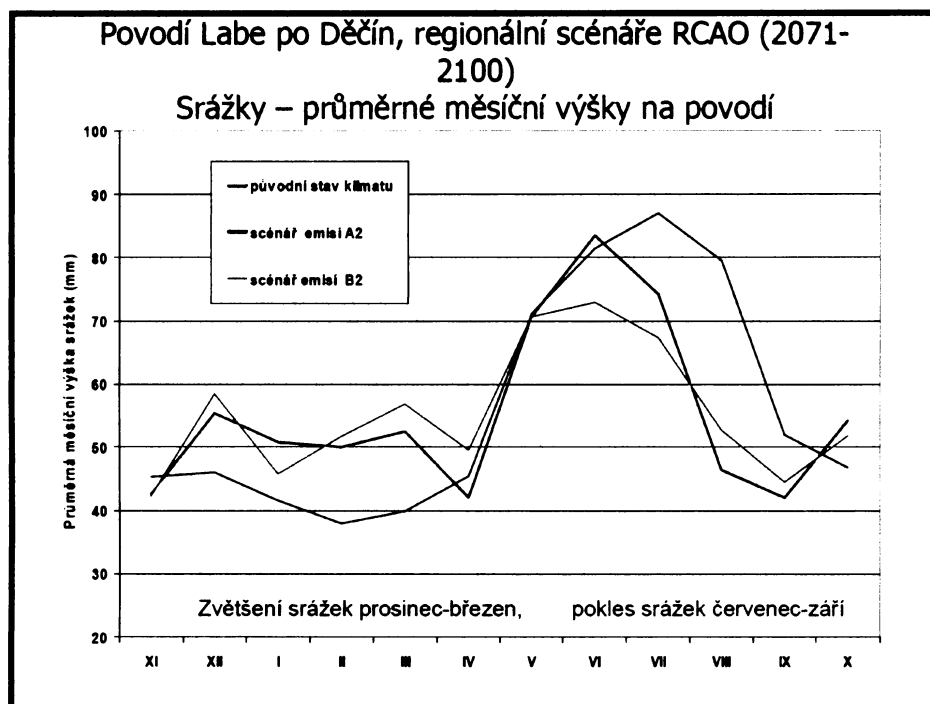
V současné době je v ČR často používaným modelem pro regionální scénáře klimatické změny v prostoru ČR model HIRHAM, který zpracovala Matematicko–fyzikální fakulta UK. Na základě jeho simulací, lze předpokládat, že úhrny dlouhodobých srážek v létě budou klesat výrazněji v nížinách než v hornatých oblastech. V zimě se srážky v nížinách budou naopak zvyšovat více než v horách, [*Kašpárek, 2007*].

Podle scénáře RCAO (byl též zpracován Matematicko–fyzikální fakultou UK), který zanedbává v měřítku ČR vliv orografie, probíhají gradienty změn klimatických charakteristik ve směru sever – jih a západ – východ.

Jako příklad lze uvést předpověď změn průměrných měsíčních srážek spadlých na povodí Labe po uzávěrový profil v Děčíně dle regionálního scénáře RCAO podle scénářů A2 a B2 [*IPCC, 2007*] pro období 2071–2100. Jak je vidět z grafu v Obr. č. 10, model předpokládá nárůst srážek od prosince do března a naopak pokles srážek od července do září.

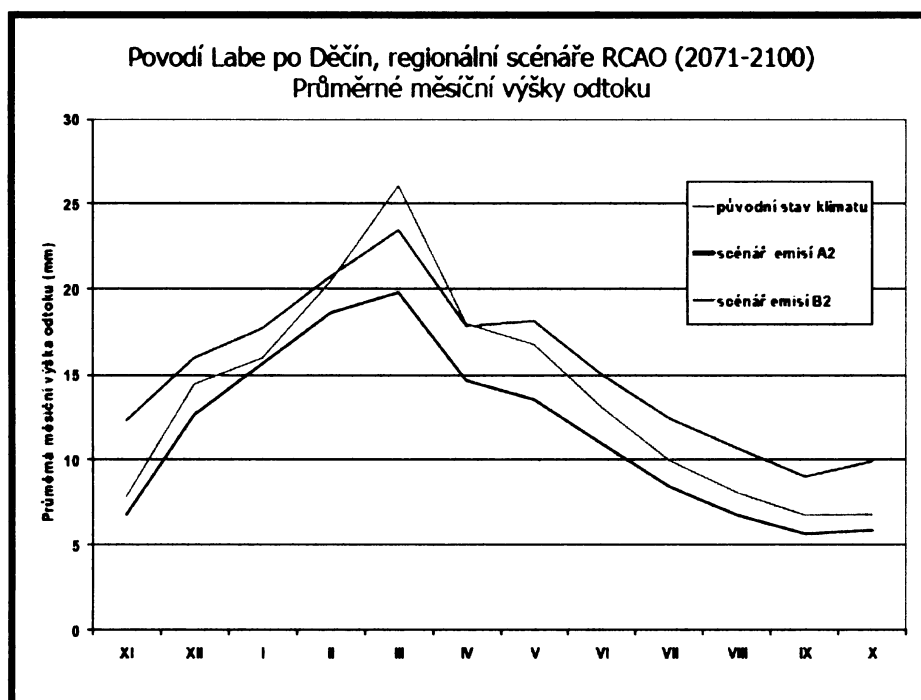
S tím souvisí i změny průměrné měsíční výšky odtoku, (Obr. č. 11). Klimatická změna postihne nejprve povodí s menšími úhrny srážek, které v létě mohou trpět nedostatkem vody.

Obr. č. 10 *Předpověď změn průměrné měsíční výšky srážek v povodí Labe po Děčín v ročním cyklu pro období 2071–2100 podle scénářů A2 a B2*



Zdroj: Kašpárek, 2007

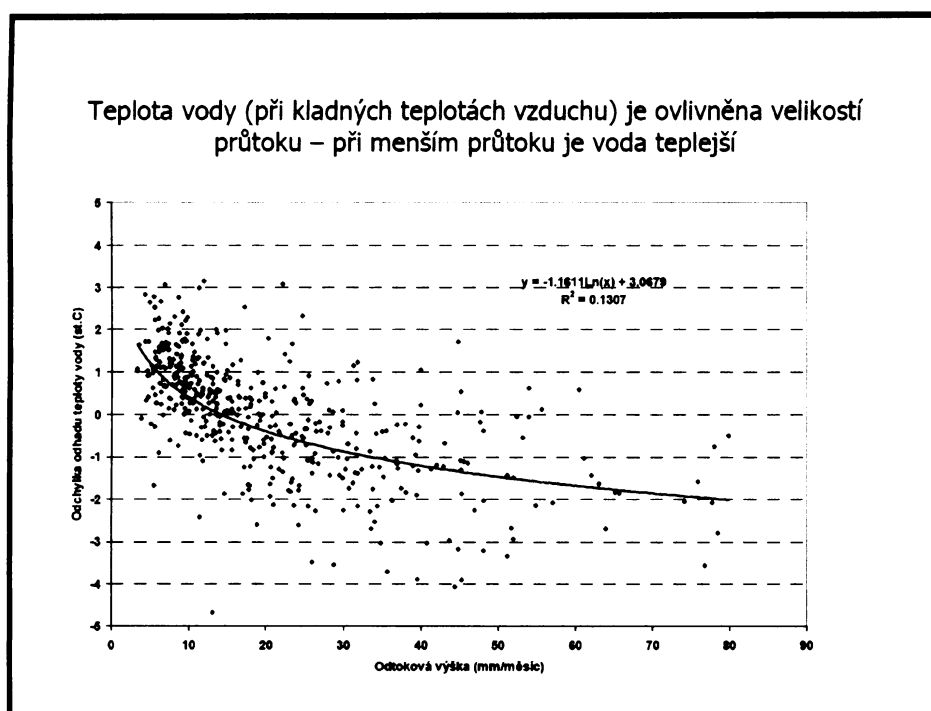
Obr. č. 11 *Předpověď změn Průměrné měsíční výšky odtoku v povodí Labe po Děčín v ročním cyklu pro období 2071–2100 podle scénářů A2 a B2*



Zdroj: Kašpárek, 2007

Následkem malého průtoku v letních měsících, který bývá často umocněn růstem výparu vlivem vyšší teploty vzduchu, dochází k růstu teploty vody, jak dokazuje graf v Obr. č. 12.

Obr. č. 12 Závislost kladné teploty vody na průtoku



Zdroj: Kašpárek, 2007

V ročním průměru se teplota vody zvětšuje úměrně k teplotě vzduchu, zvýšení teplot v letních měsících je větší, v srpnu více než dvojnásobné. Při malých průtocích se samozřejmě voda prohřívá více. Při pokračujícím oteplování vzduchu bude letní oteplování vody v řekách společně s poklesem průtoků jedním ze závažných důsledků s dopady na kvalitu vody, užívání vody i na vodní ekosystémy, [Kašpárek, 2007].

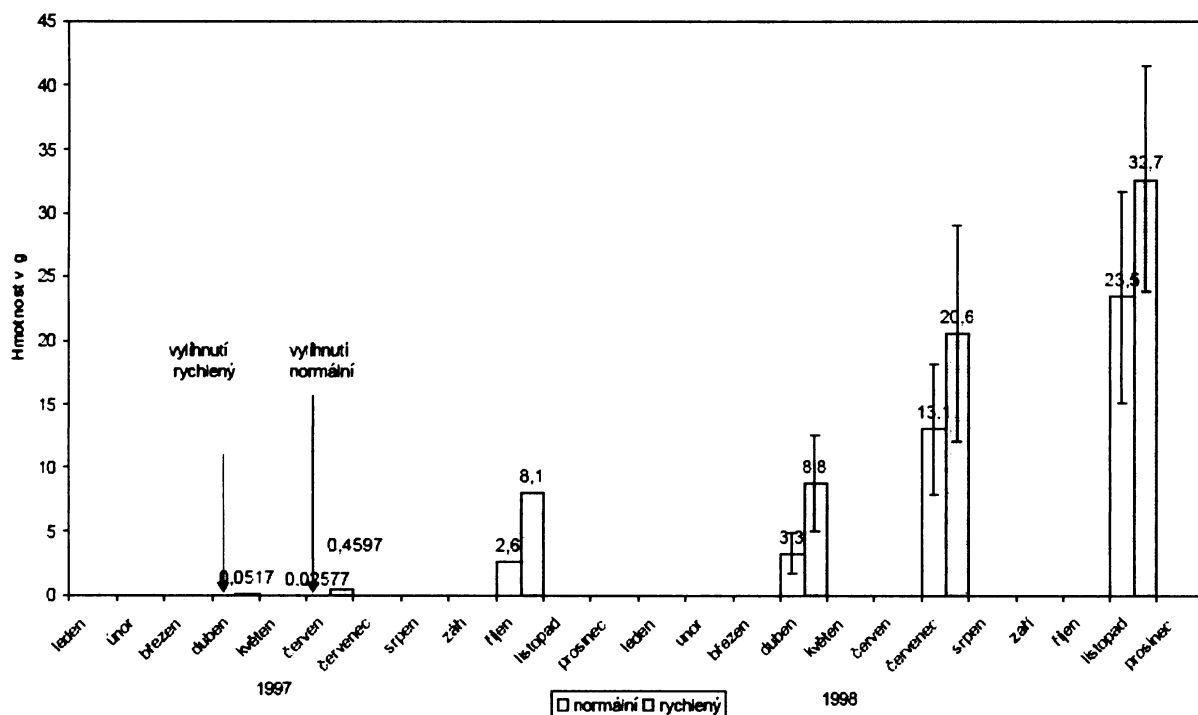
Český hydrometeorologický ústav zpracoval projekt „Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku“, [ČHMÚ, 2000]. Pomocí dvou modelů klimatických změn byly vytvořeny čtyři scénáře změn. Při variantě největšího nárůstu koncentrací CO₂ vzroste průměrná roční teplota o 2,5–3 °C při nejlepší variantě o 0,9–1,1 °C. Roční úhrny srážek se změní jen nepatrně, ale změní se jejich rozložení. Velkým problémem by mohl být pokles srážek v létě o 16–18 %.

5.4 Možnosti využití oteplených vod

Oteplených vod lze využívat v zimě k prodloužení plavebního období. Na oteplených vodách nevznikají ledové jevy.

Dalším možným využitím je jí při líhnutí ráčat. Teplota vody je totiž hlavním faktorem ovlivňujícím dobu líhnutí. Ráčata se líhnou až o 4 měsíce dříve, než ve volné přírodě.

Obr. č. 13 Hmotnostní růst raka signálního v letech 1997 a 1998 inkubovaného za normálních teplotních podmínek a na oteplené vodě



Zdroj: Kozák, 2005

Kozák [2005] uvádí, že využitím oteplené vody mohou mít ráčata na konci vegetačního období až 10x větší hmotnost než ráčata z přirozených podmínek, (Obr. č. 13).

Oteplenou vodu lze použít i při rychlení plůdku či chovu tropických ryb.

6. MODELOVÁNÍ TEPLOTNÍCH ZMĚN VE VODNÍM TOKU

Výstavbou nádrží a vypouštěním oteplených odpadních vod do toku se mění jejich teplotní režim. Známe-li teplotu vypouštěné vody, lze pomocí modelu pro vybrané standardní meteorologické situace stanovit teplotu vody v požadovaných říčních profilech i její rozdíly proti původním podmínkám. Naopak lze pro zabezpečení požadavku nepřekročení určité teploty vody v daném profilu stanovit přípustné množství vypouštěné teplé vody nebo dovolenou teplotu vypouštěné vody. Nejčastější úlohou modelování je proto simulovat teplotní změny vyvolané antropogenními zásahy do toku.

Modelování teplotních změn vody slouží tedy jednak k simulaci a prognóze jevů, které mohou nastat ve vodním toku a jednak i k navrhování a poté i k případné realizaci vhodného opatření. Přesnost výstupních dat modelu závisí na přesnosti vstupních dat.

6.1 Postupy modelování vývoje teploty vody ve vodním toku

Modelování teploty říční vody se skládá ze tří fází [Matoušek, 1980]:

(1) koncepční zobrazení

- rozdělení toku do úseků odpovídajících účelu modelování,
- strukturní idealizace zkoumaného vodního toku, která se provede popisem geometrických vlastností, které se mají modelovat,
- idealizace hraničních podmínek,
- idealizace vzájemných vztahů mezi jednotlivými částmi zkoumaného toku,

(2) funkční zobrazení

- formulace fyzikálních vlastností, procesů a hraničních podmínek pomocí algebraických rovnic,

(3) počítačové zobrazení

- převod funkčního modelu do matematických forem a procedur,
- převod matematického modelu do jazyka počítače.

6.1.1 Vstupní data modelu a jejich měření

(A) Data charakterizující místo a čas.

- Název toku.

Dá se vyčíst z běžných mapových podkladů či přímo ze zadání řešeného problému.

- Průměrná šířka hladiny pro každý úsek toku, odpovídající uvažovanému průtoku.

Musí být zjištěna dostatečně přesně, protože výrazně ovlivňuje přesnost výpočtu teploty vody v podélném profilu. Vypočítává se převážně ze změřených příčných profilů. U širokých koryt se nemusí měřit pro každý průtok. Postačuje měření pro jeden průtok. Pro ostatní se odhadne podle sklonu svahů, hloubky vody či odvozené kóty hladiny.

- Délka každého úseku (kilometrů toku).

Lze ji vyčíst z mapových podkladů.

- Datum.
- Čas, v němž určitý objem vody opouští profil (počáteční čas simulace nebo prognózy).
- Časový podélný profil.

Určí se doba zdržení v každém úseku toku a přičte se k počátečnímu času, čímž získáme časový podélný profil.

Dobu zdržení definujeme jako dobu, za kterou se určitý objem vody, za ustáleného proudění, přemístí po daném úseku a doteče z jednoho profilu – počátečního do druhého profilu – konečného. V modelu je uvažován objem vody, který má plochu hladiny 1 m².

Doba zdržení se dá vypočítat několika způsoby:

- Metoda hydrometrická

Z průtoku a průtočné plochy se vypočte průměrná profilová rychlost. Známe-li délku úseku toku, můžeme pak dopočítat dobu zdržení.

(a) při rovnoměrném proudění (v přírodě se vyskytuje jen zřídka):

$$\tau_z = \frac{L}{v} \quad , \quad (10)$$

kde

τ_z – doba zdržení [s]

L – délka toku [m]

v – průměrná profilová rychlost [m.s⁻¹]

(b) při nerovnoměrném proudění:

$$\tau_z = \int_A^B \frac{dL}{v_i} \quad (11)$$

kde

dL – diferenciál přírůstku délky toku v říčním úseku \overline{AB} [m]

v_i – průměrná profilová rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Hydrometrická metoda je vhodná pro průměrnou velikost průtoku, pokud se nemění příčný profil a postačí-li méně přesné výsledky. Pro výpočet doby zdržení lze použít i též např. povrchových nebo tyčových plováků, obdobně jako při hydrometrování.

Kemel [1996] uvádí metodu, při níž se měří chod pilin. Na prvním – počátečním profilu se vysypou piliny. Jejich první shluky, které doplují do druhého – konečného profilu určují nejkratší dobu zdržení, nebyly-li po cestě ovlivněny, např. větrem u hladiny vody.

- Metoda výpočtová

Pomocí hydraulických výpočtů lze též určit dobu zdržení. Průměrná profilová rychlost se spočítá z Chezyho rovnice a doba zdržení se dopočítá ze vztahu (9).

- Chemická rychlostní metoda

Metoda je založena na měření měnící se koncentrace roztoku vstříknutého do vodního toku.

- Zeměpisná šířka [$^{\circ}$].

Postačuje určit pro geometrický střed systému. Lze ji určit z mapy a změřit pomocí GPS.

- Časová konstanta určující odchylku středního místního času od SEČ.

- Deklinace Slunce.

- Rovnice času.

Časovou konstantu určující odchylku středního místního času od SEČ, deklinaci Slunce i rovnici času nalezneme například ve hvězdářské ročence.

(B) Hydrologicko–meteorologická data

- Průtok v každém profilu vymezející říční úsek [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Průtok vody lze zjistit více způsoby. Při určování vydatnosti pramenů či průtoku na malých tocích se provádí přímé měření. K tomu se využívá měrných či automaticky sklopných nádob.

V místech, kde pro velikost průtoku nebo nedostatek spádu nelze určit průtok přímo, se měří bodové rychlosti. Dělá se tak nejčastěji pomocí Pitotovy trubice, hydrometrická vrtule či plováků.

Dalšími způsoby určování a vyhodnocování průtoků jsou měření průměrné rychlosti vody v průtočném profilu a jeho plochy, chemická měření, výpočty empirickými vzorci nebo způsoby známé z hydrauliky.

- Boční přítok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].
- Napětí par [Pa] nebo relativní vlhkost vzduchu [%].

Nejčastěji používaným přístrojem k měření vlhkosti vzduchu je Assmannův psychrometr. Je uměle ventilovaný. Tento přístroj, používaný mimo budku, má teploměrné nádoby chráněny před slunečním zářením dvojitými sousými trubičkami, jejichž tenký plech je povrchově upraven do vysokého lesku. Konstantnost proudění kolem teploměrných těles je zajištěna ventilátorem, poháněným pérovým nebo elektrickým motorem, [Kemel, 1996].

Často se těchto psychrometrů používá v terénu, neboť jejich lesklé provedení umožňuje měření i na slunci. Pomocí háku se zavěsí na sloup či strom nebo se měří z „rukou“, kdy je přístroj držen ve výši očí v natažené ruce. Vlhkost se určí z tabulek pro ventilovaný psychrometr.

- Množství (intenzita) dešťových srážek [$\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$].

Dešťové srážky mohou teplotu vodního objemu v říčním úseku ochlazovat i oteplovat, podle toho, v které době dojde k jejich spadu. V letních měsících převládá spíše ochlazovací efekt. Pokud se výjimečně vyskytnou v zimních měsících a nebo častěji v jarním období mohou vodu v korytě toku oteplovat. Velikost tepelného vlivu dešťových srážek je odvislá od jejich množství, trvání a intenzity. Udávají se objemem vody spadlým na plochu hladiny říčního úseku nebo srážkovou výškou v mm za určitou vodu.

Úhrny spadlých dešťových srážek se měří bodově prostřednictvím srážkoměrů a nebo ombrografů umístěných v blízkém okolí říčního úseku. Potřebné plošné

charakteristiky (jako je objem, výška a intenzita srážek) se odvozují na základě naměřených údajů různými metodami (metoda polygonová, hýetografická atp.).

- Množství (intenzita) sněhových srážek [$\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$].

Sněžení ovlivňuje proces ochlazování vody. Na intenzitě sněžení je závislá hustota tepelného toku.

Výška sněhu, jež připadla od posledního měření, se měří pomocí speciálního pravítka o délce 30 cm až 50 cm na sněhoměrné desce, která má rozměry 30 cm x 30 cm. Deska je položena na zemi na vyvýšeném místě avšak nerušeném větrem, popřípadě desku zatlačíme do již stávající vrstvy sněhu tak, aby její horní plocha byla v rovině se sněhem.

- Sklon hladiny nebo dna.

Výškový rozdíl mezi dnem v horním a dolním profilu určitého úseku je spád, poměr spádu a celkové délky je sklon I . Je vyjadřován buď jako desetinné číslo, nebo v promile, [Kemel, 1996].

- Teplota půdní vrstvy [$^{\circ}\text{C}$].

Půdní teploměry jsou teploměry rtuťové, [Kemel, 1996]. Otvory pro jejich umístění jsou vyvrtány speciálními vrtáky, jež zachovávají strukturu i tepelnou vodivost půdy.

(C) Klimatologická data

- Teplota vzduchu ve výšce 2 m nad hladinou [$^{\circ}\text{C}$].

Pro měření teploty vzduchu v terénu je vhodný velmi přesný aspirační psychrometr. Jeden z jeho teploměrů je totiž velmi citlivý staniční teploměr.

- Rychlost větru ve výšce 2 m nad hladinou [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

Rychlost větru se měří anemometry. Pro měření průměrné rychlosti větru v terénu se používá ponejvíce anemometr přenosný. Jeho základní součástí je Robinsonův miskový kříž. Jedná se o soustavu tří či čtyř dutých lehkých polokoulí z kovu. Uspořádány jsou po obvodě kruhu na dlouhých ramenech posunutých o 120° resp. 90° . V závislosti na dynamickém účinku větru se kříž roztočí.

- Oblačnost v desetínách [0–1].

Oblačnost je stupeň zatažení oblohy oblaky. Měření plochy zakryté oblaky se provádí odhadem – přímým pohledem na oblohu nebo pomocí oblakového zrcátka.

Vždy se musejí započítat všechny oblaka co jsou na obloze. Stupeň zakrytí se určí v desetinách.

- Hustota oblaků [0, 1, 2].

Hustotu oblaků určujeme podle svitu Slunce, resp. toho jak je vidět skrz oblaka modrá obloha. Vyjadřuje se celými čísly. Nula znamená velmi řídkou oblačnost, kdy Slunce prosvítí oblaka tak, že předměty vrhají stíny. Pokud předměty stíny nemají a přes oblaka vidíme jen obrys Slunce, jde o málo hustou oblačnost a značíme ji číslem jedna. Když Slunce oblaky ani neprosvítá, považujeme oblačnost za hustou a značíme ji číslem dvě.

- Dohlednost [km].

Udává se prostřednictvím vzdálenosti, na kterou lze v otevřené krajině rozeznat opticky kontrastní předměty. Jelikož je tato stupnice velmi závislá na oku pozorovatele a tedy subjektivní, používá se raději meteorologický optický dosah (meteorological optical range – MOR).

Meteorologický optický dosah je délka dráhy v atmosféře potřebná k redukci světelného toku ve svazku vytvořeném žárovkou o barevné teplotě 2700 K na 5 % jeho původní teploty, [Eumetcal, 1996].

6.1.2 Schéma koncepce a funkcí modelu pro výpočet teplotních změn ve vodním toku

Hydrologická bilance (viz Obr. č. 14) pro objem vody v říčním úseku představuje rovnici kontinuity (12).

$$\frac{dV_j}{d\tau} = Q_p - Q_o + H_s - E + Q_b - Q_d \quad , \quad (12)$$

kde

V_j – objem vody v úseku j [m^3]

Q_p – velikost přítoku do úseku ve směru osy toku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q_o – velikost odtoku z úseku ve směru osy toku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

H_s – objem srážek spadlých na plochu hladiny v úseku za sekundu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

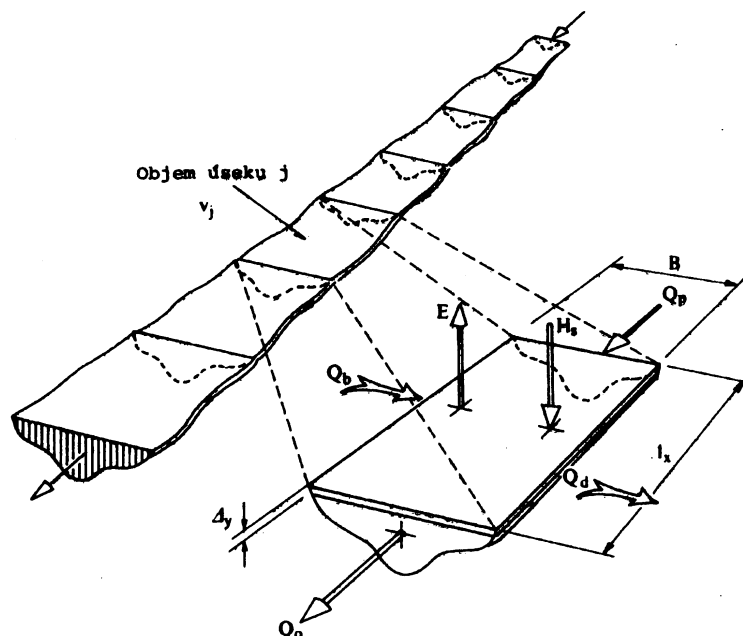
E – objem výparu z plochy hladiny v úseku za sekundu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q_b – velikost bočního přítoku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q_d – velikost ztráty vody průsakem [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

τ – čas [s]

Obr. č. 14 Schéma hydrologické bilance v říčním úseku



Zdroj: Matoušek, 1980

V případě ustáleného proudění je:

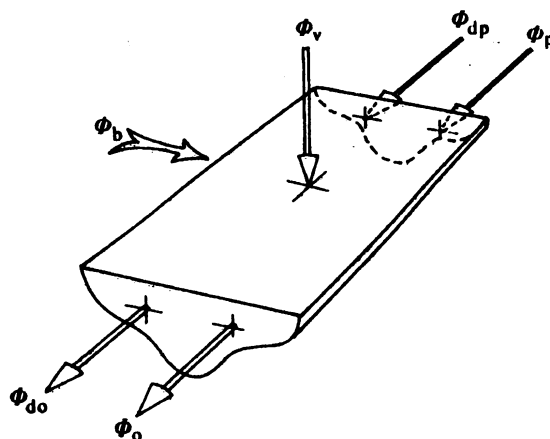
$$\frac{dV_j}{d\tau} = 0 \quad , \quad (13)$$

V případě neustáleného proudění, což se vyskytuje v přírodě nejčastěji, platí, že:

$$V_j(\tau + \Delta\tau) = V_j(\tau) + \frac{dV_j}{d\tau} \Delta\tau \quad , \quad (14)$$

Všechny nezjistitelné přírůstky nebo ztráty z objemu úseku jsou vyjádřeny v Q_p a Q_o . Velikost H_s a E je v krátkém čase poměrně malá, proto jsou tyto veličiny zanedbány, avšak v tepelné bilanci nelze jejich vliv opomenout proto jsou zakalkulovány do tepelného toku výměny tepla mezi vodním tokem a okolním prostředím. Q_d se přitom zahrnuje do Q_o .

Obr. č. 15 Schéma tepelné bilance v říčním úseku



Zdroj: Matoušek, 1980

Tepelná bilance objemu úseku (viz Obr. č. 15), v sobě zahrnuje:

- tepelný tok spojený s objemem vody vyjádřeným rovnicí (12),
- difúzní přenosy vyvolané schopnostmi toku podélného míšení,
- přenosy tepla z nekapalného okolního prostředí,

a je vyjádřena rovnicí

$$\frac{dU_j}{d\tau} = \Phi_p - \Phi_o + \Phi_{dp} - \Phi_{do} + \Phi_v + \Phi_b \quad , \quad (15)$$

kde

- U_j – teplo obsažené v objemu vody v úseku j [J]
- Φ_p – tepelný tok spojený s přítokem do úseku ve směru toku [W]
- Φ_o – tepelný tok spojený s odtokem vody z úseku (ve směru osy toku) [W]
- Φ_v – výsledný tepelný tok výměny tepla mezi vodním tokem a okolním prostředím [W]
- Φ_{dp} – tepelný tok přinášený difúzním přenosem [W]
- Φ_{do} – tepelný tok odnášený difúzním přenosem [W]
- Φ_b – tepelný tok spojený s bočním přítokem [W]
- τ – čas [s]

Vliv difúze může být zanedbán bez větší chyby, kromě případů, kdy teplotní gradient d_{tv} v úseku na dráze d_x v ose toku je velký, např. blízko koncentrovaného zdroje tepla.

V rovnici (12) je zanedbán tepelný tok turbulentní difúze, a proto je následně vyjádřena v přírůstkové formě za časový úsek $\Delta\tau$, v němž jsou velikosti přítoků a odtoků zprůměrovány.

$$\Delta U_j = c\rho(\bar{Q}_p\bar{t}_{vp} - \bar{Q}_o\bar{t}_{vo} + \bar{Q}_b\bar{t}_{vb})\Delta\tau + S_j q_v \Delta\tau \quad , \quad (16)$$

kde

- ΔU_j – přírůstek tepla v objemu vody úseku j [J]
- c – měrné teplo vody ($c = 4\,186,8$) [J.kg⁻¹. °C⁻¹]
- ρ – měrná hmotnost vody [kg.m⁻³]
- S_j – plocha rozhraní “voda – vzduch“, kterou se přenáší teplo, tj. plocha vodní hladiny v úseku [m²]
- q_v – výsledný tepelný tok výměny tepla mezi vodním proudem a okolním prostředím procházející jednotkovou plochou hladiny – výsledná hustota tepelného toku [W.m⁻²]
- \bar{Q}_p – průměrný přítok vody do úseku ve směru osy toku za interval $\Delta\tau$ [m³.s⁻¹]
- \bar{Q}_o – průměrný odtok vody z úseku za interval $\Delta\tau$ [m³.s⁻¹]
- \bar{Q}_b – průměrný boční přítok vody za interval $\Delta\tau$ [m³.s⁻¹]
- \bar{t}_{vp} – průměrná teplota přitékající vody ve směru osy toku [°C]
- \bar{t}_{vo} – průměrná teplota odtékající vody [°C]
- \bar{t}_{vb} – průměrná teplota bočního přítoku [°C]
- $\Delta\tau$ – časový interval [s]

Z rovnice (16) je odvozen vztah (17)

$$\frac{dt_{vj}}{d\tau} = \frac{1}{V_j} \left\{ \frac{S_j q_v}{c\rho} + \bar{Q}_p(t_{vp} - t_{vj}) + \bar{Q}_b(t_{vb} - t_{vj}) \right\} \quad , \quad (17)$$

kde

- c – měrné teplo vody ($c = 4\,186,8$) [J.kg⁻¹. °C⁻¹]
- ρ – měrná hmotnost vody [kg.m⁻³]
- V_j – objem vody v úseku j [m³]

- S_j – plocha rozhraní “voda – vzduch“, kterou se přenáší teplo, tj. plocha vodní hladiny v úseku [m^2]
- q_v – výsledný tepelný tok výměny tepla mezi vodním proudem a okolním prostředím procházející jednotkovou plochou hladiny – výsledná hustota tepelného toku [$W.m^{-2}$]
- Q_p – velikost přítoku vody do úseku směru osy toku [$m^3.s^{-1}$]
- Q_b – velikost bočního přítoku [$m^3.s^{-1}$]
- t_{vp} – teplota vody přitékající [$^{\circ}C$]
- t_{vo} – teplota vody odtékající [$^{\circ}C$]
- t_{vj} – teplota vody objemu vody v úseku j rovná průměrné teplotě odtékající vody, když $\Delta\tau$ je nekonečně malé [$^{\circ}C$]
- τ – čas [s]

Řešením rovnice (12), (15) a (17) obdržíme teplotu vody a vývoj jejích změn s časem v j -tém úseku toku s neustáleným prouděním.

Podle toho, jaké řešení je požadováno, lze zjišťovat časový průběh teploty vody v určitém pevně zvoleném profilu nebo vyšetřovat podélný profil teploty vody v toku.

Bilance výměny tepla

Souhrn všech tepelných toků s uvážením znaménka (–) pro ztrátu a (+) pro příjem dává výsledný tepelný tok. Na základě toho lze sestavit bilanční rovnici výměny tepla, která je zapsána pomocí tepelných toků u jednotlivých složek výměny tepla, procházející jednotkovou plochou hladiny, čili interpretovanou pomocí hustot tepelných toků

$$q_v = q_1 + q_2 + q_3 + q_{4p} + q_{5p} + q_6 + q_7 + q_8 \quad , \quad (18)$$

kde

- q_v – hustota výsledného tepelného toku výměny tepla [$W.m^{-2}$]
- q_1 – hustota tepelného toku vypařováním [$W.m^{-2}$]
- q_2 – hustota tepelného toku výměny tepla konvekcí [$W.m^{-2}$]
- q_3 – hustota tepelného toku efektivního vyzařování [$W.m^{-2}$]
- q_{4p} – hustota tepelného toku pohlceného přímého slunečního záření [$W.m^{-2}$]
- q_{5p} – hustota tepelného toku pohlceného rozptýleného slunečního záření [$W.m^{-2}$]
- q_6 – hustota tepelného toku výměny tepla s podložím [$W.m^{-2}$]

q_7 – hustota tepelného toku příjmu tepla od práce sil vnitřního tření [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

q_8 – hustota tepelného toku atmosférickými srážkami [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

Z důvodu omezeného rozsahu tohoto systematického přehledu nejsou dále uváděny vztahy pro výpočet jednotlivých hustot tepelných toků. Podrobněji se lze seznámit s jejich definicemi v publikaci *Matouška [1980]*.

Celkový přenos tepla z úseku toku o ploše S za časový interval $\Delta\tau$ do ovzduší je dán vztahem (19).

$$S \cdot q_v \cdot \Delta\tau = S(q_1 + q_2 + q_3 + q_{4p} + q_{5p} + q_6 + q_7 + q_8)\Delta\tau \quad , \quad (19)$$

kde

q_v – hustota výsledného tepelného toku výměny tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

q_1 až q_8 – viz legenda rovnice (18) [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

S_j – plocha vodní hladiny v úseku [m^2]

$\Delta\tau$ – časový interval [s]

6.1.3 Počítačové řešení

(A) Pro neustálené proudění $Q = Q(t)$

Diferenciální rovnice modelující tepelné chování plně promíšeného toku vody je možno řešit pomocí počítače. Základními rovnicemi jsou (12), (15), (17) a (19).

(B) Pro ustálené proudění $Q = \text{konst.}$

Při ustáleném proudění je $dV_j/d\tau = 0$ a rovnice (12) má při zanedbání E a H_s a zahrnutí Q_d do Q_o tvar : $Q_o = Q_p + Q_b$

Rovnice (16) má po úpravě pak tvar

$$t_{vo}(\tau) = \frac{Q_p}{Q_o} t_{vp} + \frac{S_j q_v(\tau)}{c \cdot \rho \cdot Q_o} + \frac{Q_b t_{vb}}{Q_o} \quad , \quad (20)$$

Pokud není na úseku toku boční přítok tzn. $Q_b = 0$ a $Q_p = Q_o$ zredukuje se rovnice (20) na tvar

$$t_{vo}(\tau) = t_{vp} + \frac{S_f q_v(\tau)}{c \cdot \rho \cdot Q_o} \quad , \quad (21)$$

Základními rovnicemi pro matematický model ustáleného proudění jsou (19) a (20).

6.1.4 Ověření modelu

V České republice byl vyvinut pro modelování podélného teplotního profilu v toku jediný model a to *Matouškem [1980]* z Výzkumného vodohospodářského ústavu T.G. Masaryka v Praze. Tento model byl celkem třikrát verifikován. První verifikace byla provedena na přivaděči průmyslové vody z Ohře do Bíliny. Druhá verifikace byla realizována na řece Ohři pod nádrží Nechanice. Třetí verifikace se uskutečnila na středním Labi. Verifikace potvrdila platnost modelu ve všech sledovaných podmínkách.

6.1.5 Předpověď a simulace teplotních změn (Matouškovým modelem)

Teplotní změny na toku pod nádrží

Z teplotního hlediska nás předem zajímá, zda se jedná o nádrž s trvalou letní stratifikací teploty vody (nádrž hluboká) nebo bez trvalé letní stratifikace (nádrž mělká). Řešení vychází z poznatku závislosti velikosti turbulence na rozběhu větru nad vodní hladinou.

Pokud platí, že

$$H_{\max} > 4,6D^{0,5} \quad , \quad (22)$$

kde

D – průměr z největší délky a největší šířky nádrže [km]

H_{\max} – maximální hloubka nádrže [m]

nádrže jsou zřetelně stratifikovány.

Míra vlivu nádrže na teplotní režim toku je dána především rozdílem mezi teplotou přítoku a odtoku nádrže, jakož i změnou průtoku. U stávajících nádrží můžeme tento rozdíl měřit, u projektovaných nádrží lze rozdíl teplot stanovit pomocí matematických modelů teplotních změn v nádrži.

Pomocí výše popsaného matematického aparátu modelování teplotních změn se simulují podélné teplotní profily vodního toku pod nádrží pro původní stav a stav ovlivněný nádrží a to pro zadanou charakteristickou meteorologickou situaci.

Počáteční teplota vody v podélném profilu, zadávaná jako vstupní údaj, se rovná pro původní stav teplotě přítoku do nádrže a pro ovlivněný stav teplotě odtoku z nádrže. Porovnáním obou těchto podélných profilů se obdrží rozdíly teplot mezi původním a ovlivněným stavem v jednotlivých profilech toku. Takto lze stanovit i podélný dosah teplotního vlivu nádrže v trati vodního toku pod nádrží. Konec dosahu vlivu nádrže je v místech, kde rozdíl mezi původní a nádrží ovlivněnou teplotou je nulový.

Jestliže se simuluje podélný teplotní profil pro průměrnou měsíční teplotu vody přítoku, čili pro původní teplotu a pro průměrnou měsíční teplotu odpouštěné vody, určíme z rozdílu pokles nebo zvýšení původní průměrné měsíční teploty zvlášť v každém profilu toku pod nádrží.

Pro tuto úlohu lze použít zjednodušeného modelu. Teplotu vody na konci úseku odvozenou z rovnice (21) můžeme vyjádřit také jako

$$t_{vj} = t_{v(j-1)} + \frac{q_v B_j L_j}{4186,8 \cdot 10^3 Q} \quad , \quad (23)$$

kde

t_{vj} – teplota vody na konci úseku j [°C]

$t_{v(j-1)}$ – teplota vody na začátku úseku j [°C]

B_j – šířka hladiny v úseku j při průtoku Q [m]

L_j – délka úseku j [m]

q_v – hustota výsledného tepelného toku výměny tepla mezi objemem vody s původní teplotou a okolním prostředím [W.m⁻²]

Q – průtok vody v úseku toku j [m³.s⁻¹]

Jak vyplývá z rovnice (23) pro ustálené proudění a úsek toku bez přítoků, je rozdíl mezi původní a ovlivněnou teplotou na konci úseku j

$$\Delta t_{vj} = (t_{vj} - t'_{vj}) = \Delta t_{v(j-1)} + \frac{B_j L_j}{4186,8 \cdot 10^3 Q} (q_v - q'_v) \quad , \quad (24)$$

kde

- t_{vj} – původní teplota vody na konci úseku j [°C]
- t'_{vj} – ovlivněná teplota vody na konci úseku j [°C]
- $\Delta t_{v(j-1)}$ – rozdíl obou teplot (původní a ovlivněné) na začátku úseku j [°C]
- B_j – šířka hladiny v úseku j při průtoku Q [m]
- L_j – délka úseku j [m]
- q_v – hustota výsledného tepelného toku výměny tepla mezi objemem vody s původní teplotou a okolním prostředím [W.m⁻²]
- q'_v – hodnota výsledného tepelného toku pro objem vody s ovlivněnou teplotou [W.m⁻²]

Vztah vychází z předpokladu, že průtok vody v toku je shodný pro původní i nový stav (bez vlivu nalepšení průtokové situace nádrží).

Hustota výsledného tepelného toku je dána součtem jednotlivých složek výměny tepla podle rovnice (18). Rozdíl výsledných tepelných toků zahrnuje jen složky závislé na teplotě vody, tj. výměnu tepla výparem, konvekcí a vyzařováním vodní hladiny. Uvádí se pouze konečný vzorec podle *Matouška [1980]* ve tvaru

$$q_v - q'_v = (61,328\Delta t_{v(j-1)} + e'_o - e_o)(0,1111 + 0,157w) + 5,445 \cdot 10^{-8}(T_v'^4 - T_v^4), \quad (25)$$

kde

- e'_o – napětí nasycených par při ovlivněné teplotě vody [Pa]
- e_o – hodnota napětí nasycených par pro původní teplotu vody [Pa]
- T'_v – absolutní teplota ovlivněné teploty vody $T'_v = 273,15 + \bar{t}_v$ [°C]
- T_v – absolutní teplota původní teploty vody $T_v = 273,15 + t_v$ [°C]
- $\Delta t_{v(j-1)}$ – rozdíl obou teplot (původní a ovlivněné) na začátku úseku j [°C]
- q_v – hustota výsledného tepelného toku výměny tepla mezi objemem vody s původní teplotou a okolním prostředím [W.m⁻²]
- q'_v – hodnota výsledného tepelného toku pro vodu ovlivněné teploty [W.m⁻²]
- w – rychlost větru ve výšce 2 m nad hladinou [m.s⁻¹]

Výpočet rozdílu ovlivněné a neovlivněné teploty vody v určitém vzdáleném profilu od nádrže se může řešit i pomocí metody v následující kapitole, která je přibližným řešením výše popsaného. Rozdíl je velmi malý a v praktických výpočtech zanedbatelný.

Vychlazování vody pod přítokem teplých vod

Rozdíl tepla mezi původní a ovlivněnou teplotou vody není závislý na intenzitě slunečního záření a teplotě vzduchu, a proto řešení pomocí modelu podélného teplotního profilu je zbytečně náročné.

Míra vlivu teplých odpadních vod na teplotní režim toku je daná především rozdílem mezi teplotou vody v korytě pod a nad vyústěním odpadních vod.

Teplotní rozdíl Δt_{vo} můžeme pomocí směšovacího pravidla vyjádřit vztahem

$$\Delta t_{vo} = t'_{vo} - t_{vo} = \frac{Q_b(t_{vb} - t_{vo})}{Q}, \quad (26)$$

kde

Q_b – velikost přítoku odpadních vod [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q – průtok vody v korytě pod zaústěním odpadních vod [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

t_{vb} – teplota odpadních vod [$^{\circ}\text{C}$]

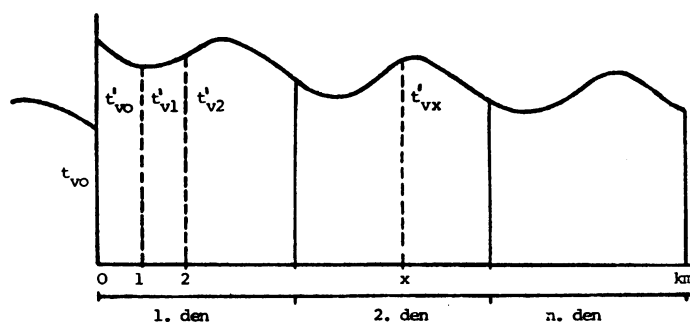
t_{vo} – teplota vody v korytě pod zaústěním odpadních vod [$^{\circ}\text{C}$]

t'_{vo} – teplota vody v korytě pod zaústěním a po smísení s odpadními vodami [$^{\circ}\text{C}$]

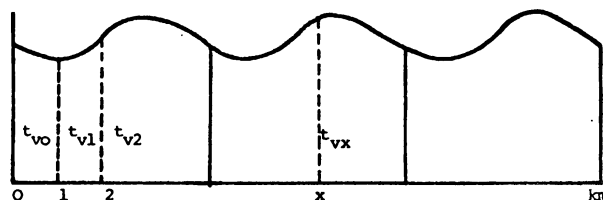
Teplotní rozdíl je přímo úměrný přiváděnému teplu odpadními vodami a nepřímo úměrný velikosti průtoku v korytě.

Vliv oteplení je určen rozdílem mezi ovlivněnou a původní teplotou v každém profilu vodního toku. Pro ustálené proudění a úsek toku bez přítoků, je rozdíl mezi původní a ovlivněnou teplotou na konci úseku j je vyjádřen vztahem (24).

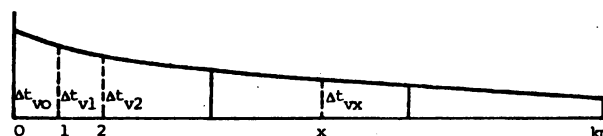
Obr. č. 16 Podélné profily oteplování říčního úseku odpadními vodami a podélný profil postupného vychlazování v trati vodního toku



Podélný profil teploty vody pod přítokem teplých vod



Podélný teplotní profil bez vlivu teplých vod



Čára ubývání oteplení /čára vychlazování/

Zdroj: Matoušek, 1980

Zavedeme-li označení podle Obr. č.16 a uvažujeme-li rozdělení vyšetřované části toku na úseky délky $L = 1$ km, pak můžeme vztah (24) přepsat

$$\Delta t_{vx} = t_{v(x-1)} - \frac{B_x \Delta q_v}{4186,8 \cdot Q} \quad , \quad (27)$$

kde

Δq_v – rozdíl hustot výsledných tepelných toků výměny tepla mezi objemem vody a okolním prostředím určený vztahem (25) [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

B_x – šířka hladiny v úseku po profil x [m]

Q – průtok vody v korytě pod zaústěním odpadních vod [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Vztah (27) lze upravit do tvaru

$$\Delta t_{vx} = \Delta t_{vo} (1 - k_o)^x \quad , \quad (28)$$

kde

Δt_{vx} – rozdíl teplot ovlivněné a neovlivněné odpadními vodami v profilu x [°C]

t_{vo} – teplota vody v korytě pod zaústěním odpadních vod [°C]

t'_{vo} – teplota vody v korytě pod zaústěním a po smísení s odpadními vodami [°C]

x – vzdálenost od počátečního profilu [km]

Q – průtok vody v korytě pod zaústěním odpadních vod [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

k_o – koeficient odtoku (je konstantní pro všechny úseky)

$$k_o = \frac{B \cdot \Delta q_{vo}}{4186,8 \cdot Q \cdot \Delta t_{vo}}$$

kde

B – průměrná šířka hladiny mezi počátečním profilem a profilem ve vzdálenosti x [m]

Rozdíl hustot výsledných tepelných toků můžeme přibližně vyjádřit vztahem

$$\Delta q_v = \Delta q_{vo} \cdot \Delta t_{vo} \quad , \quad (29)$$

Δq_{vo} – rozdíl hustot výsledných tepelných toků výměny tepla mezi objemem vody a okolním prostředím pro rozdíl teplot $(t'_{vo} - t_{vo}) = 1^\circ\text{C}$

Poté je

$$k_o = \frac{B \cdot \Delta q_{vo}}{4186,8 \cdot Q} \quad . \quad (30)$$

7. DISKUSE

Teplota vody je důležitým faktorem výrazně ovlivňujícím vodohospodářské a ekologické využívání vodních toků. Závisí na ní životy všech vodních organismů, včetně těch největších – ryb. V mnoha směrech je důležitá i pro člověka. Říční voda je především nepostradatelným zdrojem pitné vody, chladicí vody pro průmysl, využívá se jí v řadě výrobních provozů a je surovinovou základnou mnoha produktů. Záporné teploty vody jsou příčinnou tvorby ledových jevů, které mohou mít potenciálně škodlivé účinky na konstrukce technologických zařízení či vyvolat vznik povodňových situací.

Z rešerše dané literatury vyplývá, že změny teploty vody toků nejsou značné, pohybují se v řádu několika málo stupňů Celsia. V lokálním pohledu však zvláště změny probíhající v reálném čase mohou nabývat na velkém významu. Jde například o náhlý a velký nárůst teploty vody pod zaústěním odpadních vod z průmyslu, což způsobuje mimo jiné i vážné problémy v rybářství nebo v případě horkých vln o náhlé výpadky elektrárenských bloků, což způsobuje poruchy v energosystému, atp. Naopak výtok chladnější vody (v letních měsících) pod výpustí přehradních nádrží, které znepříjemňuje rekreaci a má vliv na teplomilné organismy.

V posledních letech se věnuje větší pozornost životnímu prostředí člověka a více se dbá na ochranu přírodních zdrojů včetně vody. V odborné i populárně–naučné literatuře se nachází řada článků o znečištění toků, ale téma teploty vody a tepelného znečištění bývá opomíjeno. Z hlediska potřeb moderní ochrany životního prostředí a trvale udržitelného socio-ekonomického rozvoje problém teploty vody toků nelze považovat za podřadný a je důležité mu nadále věnovat zvýšenou pozornost.

Z předložené rešerše dostupné literatury nemohly být a nebyly tedy jistě analyzovány všechny možné důsledky a příčiny změn teploty vody v tocích. Z uvedeného však vyplývá jeden jistý závěr. Analýza teplotního režimu našich vodních toků, výzkum nových poznatků a s tím související komplexní bilance toků energie, látek a oběhu vody v krajině si vyžaduje intenzivnější rozvoj této tematiky než tomu bylo doposud. Jako hlavní úkoly lze spatřovat:

- vymezení tepelně znečištěných a nebo tím ohrožených říčních úseků na území ČR,
- realizaci signálního automatického teplotního monitoringu v těchto říčních úsecích, na jehož nákladech a provozních režích by se podílely tepelní znečišťovatelé vodního prostředí,
- prohlubování poznatků o antropogenních procesech ovlivňujících tepelný režim vody v říční síti a zkoumání možností jeho regulace,

- studium změny klimatu na oteplování vody v tocích a v nádržích, jakož i jeho dopadů na ekosystémy a hospodaření s vodou včetně návrhů vhodných opatření,
- zdokonalování modelových přístupů k výpočtu teplotních změn v říčních úsecích,
- návrh předpovědního systému k vydávání výstrah pro přechod na adaptibilní způsob provozu u provozoven záviselých na teplotě říční vody v období hydrologického sucha,
- návrh systému posudkových analýz k uplatňovaným požadavkům ovlivňujících teplotní režim vodního toku z hlediska zásad udržitelného rozvoje hospodaření s vodou.

8. ZÁVĚR

Teplota a teplotní režim vodních toků výrazně ovlivňují důležité složky života člověka, společnosti, hospodářství a životy hydrobiontů.

Vodní tok jehož voda je teplejší než 25 °C je považován již za znečištěný a není jej možno využívat jako zdroj pitné vody. Optimální teplotou upravené pitné vody, aby osvěžila, ale nezpůsobila zdravotní problémy, je 8–12 °C.

V průmyslu se voda využívá při vlastní výrobě, chlazení, topení, výrobě páry aj. Na teplotě vody a jejím množství je závislá účinnost chlazení. Chlazení vodou je životně důležité zvláště pro provoz tepelných a jaderných elektráren.

V zemědělství má teplota vody velký význam hlavně ve dvou výrobních sférách – v rostlinné výrobě a při chovu ryb. V rostlinné výrobě jde o teplotu vody používanou na závlahy. Měla být vyšší než teplota půdy. V jarních měsících se jedná o teplotu 10–15 °C a v létě 15–20 °C. Nejvýše přípustnou teplotou vody pro závlahu v našich podmínkách je 35 °C.

V rybářství podstatně ovlivňuje teplota vody, životní prostor ryb. Ryby jsou málo odolné hlavně na náhlé a velké změny teploty vody. Jde o rozdíly vyšší než 10 °C. Při menších a pozvolných teplotních změnách se dokáží částečně aklimatizovat. Podle závislosti druhů ryb na teplotě vody, se vyčleňují v našich tocích dle nařízení vlády č. 71/2003 Sb. dvě hlavní pásma druhů ryb - lososovité a kaprové. Hranicí mezi nimi je teplota vody okolo 20 °C. Bylo též dokázáno, že u zdrojů oteplených vod se hojněji vyskytují teplomilné druhy ryb, což změnilo původní přirozenou prostorovou distribuci ryb v říční síti.

Vodní tok je životním prostředím i mnoha dalších organismů, kteří jsou závislí na teplotě vody. Teplotnímu vlivu podléhají hlavně houby, řasy, bakterie či makrofyty.

Doporučenou teplotou vody pro rekreaci obyvatelstva je teplota vyšší 18 °C. Vyšší teploty vody v úsecích se zpomalenou dynamikou vody (např. slepá říční ramena) jsou náchylnější k výskytu někdy i toxických sinic.

Rostoucí teplota vody urychluje rozkladné procesy v toku, ale na druhou stranu vede ke zvýšení kyslíkového deficitu, proto je zakázáno vypouštět do toků vody teplejší než 30 °C.

Při poklesu teploty vody pod 0 °C tvoří se na tocích ledové jevy, které mohou škodlivě působit na vodohospodářské objekty na tocích, vytvářet bariéry a tím nastolovat podmínky pro vznik povodní atp. Dělí se na ledové jevy v pomalu a rychle tekoucí vodě, rozhraním mezi nimi je průměrná profilová rychlost 0,4 m.s⁻¹.

Za posledních 30 let vzrostla v průměru teplota vody toků o 1 °C. Nejčastějšími příčinami změn teploty říční vody v České republice jsou:

- 1) elektrárny – především jaderné a tepelné,
- 2) chladicí systémy průmyslových závodů,
- 3) výrobní a provozní systémy průmyslových závodů,
- 4) čistírny odpadních vod,
- 5) přehradní nádrže.

Největší množství oteplených vod produkují elektrárny. Přehradní nádrže vypouštějí teplejší vodu v zimních měsících a v letních naopak chladnější a to vlivem polohy výpustných zařízení ve spodní části přehrady.

Možným zdrojem oteplení vodních toků může být i globální oteplování., jehož vliv se však pravděpodobně více projeví až v budoucnu.

Nejvyšší oteplení vody nastává v letních měsících při menších průtocích. Od roku 1958 stoupla průměrná teplota vzduchu v srpnu o 2 °C. Průměrná teplota vody vzrostla o stejnou hodnotu.

Oteplené vody nemusí mít však jen negativní dopady. Lze jich využívat v zimě k prodlužování plavebního období a provozu otevřených přivaděčů. V oteplených vodách nevznikají ledové jevy. Dalšími možnými druhy využití je při líhnutí rácat, rychlení plůdku či chovu tropických ryb, atp.

Popsaný Matouškův matematický model podélného teplotního profilu toku pomáhá simulovat a předpovídat změny teploty vody, čehož lze výhodně použít v praxi, zejména pro vodní hospodářství, v ekologických posudcích, průmysl atp.

Šetrné využívání všech vodních zdrojů a důsledné čištění vod odpadních, včetně opatření proti tepelnému znečišťování, je jedinou možnou racionální cestou pro budoucnost.

9. LITERATURA

252/2004 Sb. VYHLÁŠKA ze dne 22. dubna 2004 kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2004, částka 82, s. 5402-5422.

AMBROŽOVÁ ŘÍHOVÁ, J. *Encyklopedie hydrobiologie* [online]. Technická 5, 166 28 Praha 6 : Vydavatelství VŠCHT, 2006 [cit. 20-05-08]. Dostupný z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/>. 978-80-7080-007-2.

BRATRÁNEK, Alois. *Teplotní režim v tocích a jeho změny vodohospodářskými zásahy*. redaktorka Inez Duhová . 1. vyd. Praha-Podbaba : Výzkumný ústav vodohospodářský, 1961. 98 s.

ČERMÁK, Miroslav. *Teplota vody na moravských tocích*. 1. vyd. Praha : Hydrometeorologický ústav , 1959. 47 s., 12 grafů.

ČERVENÝ, Jaroslav, et al. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Redaktor Vladimír Soják; ilustroval Zdeněk Lekeš. 1. vyd. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1984. 416 s. ISBN 07-098-84.

ČSN 73 6530. *Názvosloví hydrologie*. Praha 10 - Hostivař : Vydavatelství ÚNM, 1984. 96 s.

ČSN 75 7143. *Jakost vody pro závlahu*. Praha 10 - Hostivař : Vydavatelství norem, 1991. 24 s.

Eumetcal : The European Virtual Organisation for Meteorological Training [online]. [2005] , Thursday 1 May 2008 [cit. 2008-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://euromet.meteo.fr/euromet/glossary/meteor22.htm>>.

HANEL, Martin. Vliv klimatických změn na hydrologický režim povodí Jizery podle regionálních klimatických scénářů . *Vodní hospodářství*. 2007, roč. 57, č. 6, s. 6-9.

HANSLÍK, Eduard. *Vliv jaderné elektrárny Temelín na hydrosféru*. 1. vyd. Praha : Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 1996. 84 s. ISSN 80-85900-12-2.

HOLOUBEK, Ivan. *Chemie životního prostředí III : Samočistící schopnost vod*. [online]. 2007 [cit. 2008-07-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-iii/chzp-iii-hydrosfera-04-samocistici-schopnost-vod.pdf>>.

HORKÝ, Pavel, SLAVÍK, Ondřej . *Vliv tepelného znečištění na prostorovou distribuci ryb. 12. Magdeburský seminář o ochraně vod : Rámcová směrnice o vodách (WFD)* [online]. 2006 [cit. 2008-06-11], s. 97-98. Dostupný z WWW: <[http://www2.pvl.cz/Aplikace/pvl.nsf/0/db833d9d83d64bd0c12572280055c8d2/\\$FILE/sbornik_magdeburk.pdf](http://www2.pvl.cz/Aplikace/pvl.nsf/0/db833d9d83d64bd0c12572280055c8d2/$FILE/sbornik_magdeburk.pdf)>.

HORVÁTHOVÁ, Blažena. *Teplota vody tokov*. Bratislava, 1968. 86 s. Štavebná fakulta SVŠT. Vedoucí dizertační práce Akademik Oto Dub.

Hydrologická ročenka České republiky 2004. [online]. 2005 [cit. 2008-07-03]. Dostupný z WWW: <http://www.chmi.cz/hydro/hr/kap3.html#III.4_Teploty_vody_>.

Hydrologická ročenka České republiky 2005. [online]. 2006 [cit. 2008-07-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.chmi.cz/hydro/hr05/obsah.html>>.

JERMÁŘ, Milan. *Vodní hospodářství : pro 3. a 4. ročník středních průmyslových škol stavebních*. redaktor Jiří Kulišan. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1982. 224 s. ISBN 04-705-82.

KASTNER, František. *Odpadní vody cukrovarnického průmyslu*. In *Odpadní vody potravinářského průmyslu*. Praha : Dům techniky ČSVTS, 1980. s. 53-75.

KAŠPÁREK, Ladislav. *Modelování vlivu klimatických změn na hydrologický režim v České republice*. 2007 [cit. 2008-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.cas.cz/cls/data/4-KASPAREK-Modelovani-vlivu-KZ.pdf>>.

KEMEL, Miroslav. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Ediční středisko ČVUT. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, v dubnu 1996. 289 s. ISBN 80-01-01456-8.

KOČKOVÁ, Eva, MLEJNKOVÁ, Hana, ŽÁKOVÁ, Zdeňka. *Vliv jaderné elektrárny Dukovany na jakost vody v řece Jihlavě a soustavě nádrží Dalešice a Mohelno*. Josef Smrťák. 1. vyd. Praha : Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2001. 128 s. Výzkum pro praxi. ISBN 80-85900-39-4.

KOLÁŘ, Václav. *13. Výroba a rozvod elektrické energie*. [s.l.] : [s.n.], 2000. 8 s. Dostupný z WWW:

<http://fe11.vsb.cz/kat452/Vsb.cz/elektrotechnika/sylaby/vyroba_a_rozvod_sylab.pdf>.

KOZÁK, P. Chov a ochrana raků. 2005, 30 s. [cit. 2008-06-12]. Dostupný z WWW: <http://www.vurh.jcu.cz/studium/raci/pdf/Chov_a_ochrana_prednasky.pdf>

KURFÜRST, Josef. Úvod do Rybářství [online]. 2006 [cit. 2008-07-15], 49 s. Dostupný z WWW: <kzr.agrobiologie.cz/natural/data/datarybarstvi/rybarstvi.pdf>.

LELLÁK, Jan, et al. *Hydrobiologie : pro postgraduální studium*. Praha : Univerzita Karlova, 1982. 93 s. ISBN 1012-0494.

MATOUŠEK, Václav. *Teplotní a ledový režim vodních toků*. redaktorka Jiřina Chybová. 1. vyd. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1980. 408 s. ISBN 07-041-80-05/41.

Metodický pokyn odboru ochrany vod MŽP k nařízení vlády č. 229/2007 Sb. kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In . 2007, 55 s. Dostupný z WWW: <http://www.sovak.cz/sites/File/MP_k_novele_NV_61_final.doc>.

Ministerstvo zemědělství České Republiky. [cit. 2008-07-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.mze.cz>>.

Nařízení vlády č.61 ze dne 29. ledna 2003 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2003, částka 24, s. 898-952

Nařízení vlády č.71 ze dne 29. ledna 2003 o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2003, částka 28, s. 1018-1019.

Nařízení vlády ze dne 18. července 2007, kterým se mnění nařízení vlády č.61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2007, částka 73, s. 2774-2814.

Pasportizace chladících soustav v energetice ČR. 2007. 235 s. Dostupný z WWW: <[http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/CENMSFLZ68BT](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFLZ68BT)>.

PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. Eva Dibuszová. 3. přeprac. vyd. Praha : Vydavatelství VŠCHT, 1999. 568 s.

PRACOVNÍ SKUPINA II. *The IPCC Fourth Assessment Report : Capter 3: Europe*. 2007. 38 s. Dostupný z WWW: <<http://www.gtp89.dial.pipex.com/03.pdf>>.

PRACOVNÍ SKUPINA II. *The IPCC Fourth Assessment Report : Capter 12: Europe*. 2007. 40 s. Dostupný z WWW: <<http://www.ipcc-wg2.org/>>.

PREUß, Andrea. *Photosynthese – Pflanzen verwerten Lichtenergie* [online]. Münster: Westfälische Wilhelms-Universität : 25.03.1997 , 04.06.1998 [cit. 2008-05-02]. Německy. Dostupný z WWW: <<http://hlab2.uni-muenster.de/photosyn/ps00035.html#top>>.

RICHTER, Miroslav. *Technologie ochrany životního prostředí : Ochrana čistoty vod*. František Kepák. Ústí nad Labem : [s.n.], 2005. 79 s. Dostupný z WWW: <<http://ekologie.upol.cz/ku/ppto/tozpl.doc>>. ISBN 80-7044-684-6.

ŠÁLEK, F. Odhady dopadů očekávané klimatické změny na hospodářství České republiky. *Energetické generely a audity jako součást systému environmentálně orientovaného řízení* [online]. 1997 , 18.10.2002 [cit. 2008-07-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.env.cz/www/zamest.nsf/0/151d0791b1f39db1c125654f0059bd40?OpenDocument>>

VOTRUBA, Ladislav, PATERA, Adolf. *Teplotní a zimní režim toků, nádrží a vodních děl*. redaktor Ladislav Hrdina. 1. vyd. Praha : Československé akademie věd, 1983. 552 s., 1 mapa, 1 graf.

Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č.135 ze dne 17. března 2004, kterou se stanoví podle zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění zákona č. 274/2003 Sb., hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2004, částka 43.

Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č.252 ze dne 22. dubna 2004, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody Změna: 187/2005 Sb. Změna: 293/2006 Sb.. In *Sbírka zákonů České republiky*.2004, částka 82.

10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

- Obr. č. 1 *Dělení organotrofních bakterií*
- Obr. č. 2 *Stanice měřící teplotu vody v České republice v roce 2008*
- Obr. č. 3 *Průměrná teplota vody toků v roce 2004 a průměr z let 1971–1990 v České republice*
- Obr. č. 4 *Průměrná teplota vody toků v roce 2005 a průměr z let 1971–1990 v České republice*
- Obr. č. 5 (a) *Denní hodnoty teploty odpadní vody a vody ve Vltavě a (b) přírůstek teploty vody ve Vltavě v důsledku vypouštění odpadní vody spočtený tepelnou bilancí*
- Obr. č. 6 *Vztah mezi teplotou vzduchu a teplotou vody v oblasti v oblasti kladných teplot vzduchu pro Labe v Brandýse nad Labem*
- Obr. č. 7 *Vztah mezi teplotou vzduchu a teplotou vody v oblasti pro záporné teploty vzduchu pro Labe v Brandýse nad Labem*
- Obr. č. 8 *Průměrné změny teploty vzduchu a vody v ročním cyklu pro Labe v Brandýse nad Labem*
- Obr. č. 9 *Průměrná teplota vzduchu a vody v srpnu 1958–2006 pro Labe v Brandýse nad Labem*
- Obr. č. 10 *Předpověď změn průměrné měsíční výšky srážek v povodí Labe po Děčín v ročním cyklu pro období 2071–2100 podle scénářů A2 a B2*
- Obr. č. 11 *Předpověď změn Průměrné měsíční výšky odtoku v povodí Labe po Děčín v ročním cyklu pro období 2071–2100 podle scénářů A2 a B2*
- Obr. č. 12 *Závislost kladné teploty vody na průtoku*
- Obr. č. 13 *Hmotnostní růst raka signálního v letech 1997 a 1998 inkubovaného za normálních teplotních podmínek a na oteplené vodě*
- Obr. č. 14 *Schéma hydrologické bilance v říčním úseku*
- Obr. č. 15 *Schéma tepelné bilance v říčním úseku*
- Obr. č. 16 *Podélné profily oteplování říčního úseku odpadními vodami a podélný profil postupného vychlazování v trati vodního toku*

Seznam tabulek

- Tab. č. 1 *Ukazatele cílové a přípustné hodnoty znečištění povrchových vod, které jsou využívány nebo u kterých se předpokládá jejich využití jako zdroje pitné vody*

Tab. č. 2 Srovnání průtočných a cirkulačních zařízení co do potřeby a spotřeby vody

Tab. č. 3 Teplota oteplené vody a vody lososové a kaprové

Tab. č. 4 Množství rozpuštěného kyslíku při dané teplotě

Tab. č. 5 Teplotní klasifikace toků

Tab. č. 6 Imisní standardy: ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod

Tab. č. 7 Evidované zdroje tepelného znečištění v povodí Moravy v roce 2002

Tab. č. 8 Teplota vychlazené vody při daném stavu počasí

Tab. č. 9 Seznam teploměrných stanic v České republice v roce 2008

11. PŘÍLOHA

Tabulka č. 9 Seznam teploměrných stanic v České republice v roce 2008

DBC	Název stanice a toku	Plocha povodí [km ²]	NVN [m n.m.]	S	Rok	Pob. ČHMÚ	Q T
42	Vestřev – Labe	299.59	331.16	B	2003	HK	Q T
141	Slatina nad Úpou – Úpa	401.86	298.74	B	1977	HK	Q T
180	Hronov – Metuje	247.75	363.56	B	1911	HK	Q T
280	Kostelec nad Orlicí – Divoká Orlice	488.62	265.61	B	1942	HK	Q T
340	Dolní Libchavy – Tichá Orlice	303.94	325.92	B	1925	HK	Q T
370	Týniště nad Orlicí – Orlice	1554.14	244.50	B	1911	HK	Q T
470	Dašice – Loučná	624.27	222.59	B	1911	HK	Q T
590	Nemošice – Chrudimka	856.60	218.17	B	1931	HK	Q T
610	Přelouč – Labe	6435.02	204.57	B	1971	HK	Q T
750	Sány – Cidlina	1153.44	192.90	B	1925	HK	Q T
770	Vestec – Mrlina	459.40	187.74	B	1955	HK	Q T
820	Plaňany – Výrovka	264.81	208.04	B	1950	PR	Q T
845	Jablonec nad Jizerou – Jizera	181.49	434.78	B	2000	PR	Q T
860	Dolní Sytová – Jizera	322.15	374.09	B	1941	PR	Q T
910	Železný Brod – Jizera	791.80	275.61	B	1912	PR	Q T
999	Mladá Boleslav - Rožátov – Jizera	1776.55	202.85	B	1899	PR	- T
1018	Tuřice - Předměřice – Jizera	2158.71	174.68	B	2000	PR	Q T
1040	Brandýs nad Labem – Labe	13109.19	163.97	B	1911	PR	- T
1044	Kostelec nad Labem – Labe	13186.35			2006	PR	Q T
1060	Lenora – Teplá Vltava	175.80	761.32	B	1946	CB	Q T
1081	Lipno – Vltava	948.20			1960	CB	- T
1090	Vyšší Brod – Vltava	997.38	552.43	B	1911	CB	Q T
1110	Břeží - Kamenný Újezd – Vltava	1825.60	399.20	B	1941	CB	Q T
1150	Roudné – Malše	962.69	390.24	B	1911	CB	Q T
1151	České Budějovice – Vltava	2849.82	378.92	B	1989	CB	Q T
1330	Bechyně – Lužnice	4055.13	354.07	B	1911	CB	Q T
1365	Stodůlky – Křemelná	134.11			2000	CB	Q T
1370	Rejštejn – Otava	333.97	564.36	B	1911	CB	Q T
1380	Sušice – Otava	534.46	466.34	B	1931	CB	Q T
1390	Kolinec – Ostružná	91.26	531.65	B	1949	CB	Q T
1410	Katovice – Otava	1133.38	396.37	B	1912	CB	Q T
1480	Husinec pod nadrží – Blanice	212.39	502.30	B	1951	CB	Q T
1510	Písek – Otava	2913.93	353.90	B	1912	CB	Q T
1590	Světlá nad Sázavou – Sázava	1141.72	386.22	B	1965	PR	Q T
1610	Zruč nad Sázavou – Sázava	1420.81	323.10	B	1943	PR	Q T
1617	Kojčice – Hejlovka	272.76	458.24	B	1993	PR	Q T

1622	Červená Řečice – Trnava	317.77	416.70	B	1992	PR	Q T
1623	Želiv – Trnava	339.94	395.07	B	1985	PR	Q T
1632	Soutice – Želivka	1186.69	320.53	B	1973	PR	Q T
1650	Kácov – Sázava	2814.34	309.53	B	1912	PR	Q T
1656	Lounovice – Blanice	211.02	380.43	B	1992	PR	Q T
1659	Libež – Chotýšanka	125.12			1995	PR	Q T
1672	Nespeky – Sázava	4038.25	259.38	B	2002	PR	Q T
1690	Zbraslav – Vltava	17827.15			1941	PR	Q T
1710	Planá – Hamerský potok	120.31	468.46	B	1952	PL	Q T
1740	Stříbro – Mže	1144.88	354.34	J	1931	PL	Q T
1799	Lhota – Radbuza	1179.38	313.92	B	1974	PL	Q T
1830	Štěnovice – Úhlava	893.18	319.82	B	1931	PL	Q T
1860	Plzeň - Bílá Hora – Berounka	4016.55	298.33	J	1931	PL	Q T
1868	Ždírec – Úslava	375.12			2004	PL	Q T
1875	Hrádek u Rokycan – Klabava	158.45			2002	PL	Q T
1900	Plasy – Střela	775.02	317.92	J	1941	PL	Q T
1945	Zbečno – Berounka	7518.96	227.95	B	1982	PR	Q T
1980	Beroun – Berounka	8284.70	213.39	B	1912	PR	Q T
2001	Praha-Chuchle – Vltava	26730.71	186.61	B	1986	PR	Q T
2030	Vraňany – Vltava	28057.41	158.59	B	1983	PR	Q T
2040	Mělník – Labe	41837.98	152.73	B	1926	PR	Q T
2120	Březová – Teplá	293.53	410.37	B	1955	PL	Q T
2140	Karlovy Vary – Ohře	2861.17	365.89	B	1959	PL	Q T
2190	Louny I. – Ohře	4962.30	171.45	B	1922	UL	Q T
2210	Ústí nad Labem – Labe	48540.85	130.95	B	1941	PR	Q T
2260	Trmice – Bílina	932.27	139.58	B	1932	UL	Q T
2350	Česká Lípa – Ploučnice	624.35	244.46	B	1948	UL	Q T
2390	Benešov nad Ploučnicí – Ploučnice	1156.16	188.96	B	1926	UL	Q T
2400	Dečín – Labe	51123.26	120.06	B	1888	PR	Q T
2450	Hřensko – Labe	51410.86	115.53	B	1982	PR	Q T
2478	Odry tok – Odra	411.77	283.45	B	1991	OS	Q T
2540	Petřvald – Lubina	165.28	230.87	B	1953	OS	Q T
2570	Svinov – Odra	1614.52	204.13	B	1923	OS	Q T
2612	Karlovice – Opava	151.37	488.86	B	1980	OS	Q T
2630	Krnov – Opava	370.68	311.00	B	1953	OS	Q T
2650	Krnov – Opavice	174.12	313.76	B	1953	OS	Q T
2660	Opava – Opava	929.69	242.32	B	1926	OS	Q T
2700	Velká Štáhle – Moravice	168.82	541.78	B	1953	OS	Q T
2723	Slezská Harta pod nádrží – Moravice	465.20	434.03	B	1992	OS	Q T
2730	Kružberk pod nádrží – Moravice	567.43	398.37	B	1955	OS	Q T
2740	Branka – Moravice	715.81	257.65	B	1926	OS	Q T
2750	Děhylov – Opava	2038.80	211.19	B	1926	OS	Q T
2753	Staré Hamry – Ostravice	73.33	511.45	B	1970	OS	Q T

2770	Šance pod nádrží – Ostravice	147.08	440.16	B	1926	OS	Q T
2810	Uspolka – Morávka	22.27	522.90	B	1966	OS	Q T
2840	Morávka pod nádrží – Morávka	64.23	473.36	B	1966	OS	Q T
2889	Sviadnov tok – Ostravice	482.05	276.47	B	1991	OS	Q T
2910	Žermanice pod nádrží – Lučina	45.77	263.73	B	1963	OS	Q T
2930	Ostrava – Ostravice	821.07	201.87	B	1926	OS	Q T
2940	Bohumín – Odra	4665.47	193.79	B	1920	OS	Q T
2960	Jablunkov – Olše	92.85	379.36	B	1953	OS	Q T
2980	Jablunkov – Lomná	70.27	383.37	B	1953	OS	Q T
2990	Český Těšín-Baliny – Olše	384.44	277.38	B	1947	OS	Q T
3017	Těrlicko pod nádrží – Stonávka	84.14	248.58	B	1976	OS	Q T
3030	Věřňovice – Olše	1071.19	195.53	B	1926	OS	Q T
3130	Mikulovice – Bělá	221.93	333.71	B	1955	OS	Q T
3200	Hrádek nad Nisou – Lužická Nisa	355.80	239.36	B	1952	UL	Q T
3220	Bílý Potok – Smědá	26.10	399.09	B	1957	UL	Q T
3230	Frýdlant v Cechách – Smědá	132.12	287.05	B	1957	UL	Q T
3240	Višnová – Smědá	187.50	234.75	B	1966	UL	Q T
3450	Raškov – Morava	349.90	362.37	B	1921	OS	Q T
3511	Šumperk tok+svod – Desná	240.99	317.15	B	1926	OS	Q T
3540	Lupěné – Moravská Sázava	445.33	285.16	B	1926	OS	Q T
3550	Moravičany – Morava	1559.20	242.98	B	1912	OS	Q T
3670	Olomouc-Nové Sady tok – Morava	3323.94	204.63	B	1921	OS	Q T
3790	Vsetín – Vsetínská Bečva	505.60	355.70	B	1941	OS	Q T
3820	Jarcová – Vsetínská Bečva	723.43	293.85	B	1940	OS	Q T
3830	Horní Bečva – Rožnovská Bečva	14.19	541.62	B	1955	OS	Q T
3870	Krásno – Rožnovská Bečva	252.40	291.51	B	1942	OS	Q T
3880	Kelč – Uhyně	86.05	296.64	B	1958	OS	Q T
3890	Teplice – Bečva	1275.33	243.11	B	1921	OS	Q T
3900	Dluhonice – Bečva	1592.69	199.70	B	1920	OS	Q T
3960	Plumlov pod nádrží – Hloučela	119.58	259.59	B	1935	BR	Q T
4030	Kroměříž – Morava	7030.31	184.17	B	1916	BR	Q T
4100	Kostelec pod nádrží – Fryštácký potok	44.48	233.24	B	1946	BR	Q T
4120	Zlín tok – Dřevnice	312.69	210.90	B	1976	BR	Q T
4130	Spytihněv – Morava	7891.12	174.51	B	1953	BR	Q T
4147	Luhačovice nad nádr.– Luhačovický potok	36.62	282.86	B	1982	BR	Q T
4150	Luhačovice pod nádr.– Luhačovický potok	45.11	265.20	B	1939	BR	Q T
4180	Uherský Brod – Olšava	400.72	200.79	B	1948	BR	Q T
4215	Strážnice – Morava	9145.84	163.28	B	1921	BR	Q T
4290	Janov – Moravská Dyje	516.95	439.82	B	1967	BR	Q T
4300	Podhradí – Dyje	1755.95	348.36	B	1935	BR	Q T
4370	Trávní Dvůr – Dyje	3531.36	172.68	B	1926	BR	Q T

4380	Jevišovice – Jevišovka	140.81	313.79	B	1952	BR	Q T
4450	Vír pod vyrovnávací nádrží – Svatka	486.86	366.41	B	1925	BR	Q T
4560	Skalní Mlýn – Punkva	153.97	342.51	B	1924	BR	Q T
4562	Jedovnice – Jedovnický potok	28.58	440.13	B	1969	BR	Q T
4570	Bílovice nad Svitavou – Svitava	1120.33	217.88	B	1918	BR	Q T
4600	Ochoz – Říčka	46.29	307.81	B	1969	BR	Q T
4620	Židlochovice – Svatka	3940.16	177.97	B	1921	BR	Q T
4690	Ptáčov – Jihlava	963.84	384.75	B	1932	BR	Q T
4695	Mohelno pod nádržemi – Jihlava	1155.26	266.28	B	1978	BR	Q T
4710	Mostište pod nádrží – Oslava	223.16	444.99	B	1963	BR	Q T
4740	Oslavany – Oslava	861.03	210.84	B	1924	BR	Q T
4780	Ivančice – Jihlava	2682.17	194.01	B	1924	BR	Q T
4795	Nové Mlýny pod nádržemi – Dyje	11878.00	159.88	B	1989	BR	Q T
4805	Břeclav - Ladná – Dyje	12279.97	157.38	B	1988	BR	Q T
4870	Popov – Vlára	169.81	312.65	B	1956	BR	Q T

Zdroj: www.chmi.cz

Vysvětlivky

DBC	databázové číslo stanice
NVN	nadmořská výška nuly vodočtu
S	výškový systém – Balt (B), Jadran (J)
Rok	rok uvedení stanice do provozu
Pob. ČHMÚ	pobočka ČHMÚ spravující objekt stanice
HK	Hradec Králové
CB	České Budějovice
PL	Plzeň
PR	Praha
UL	Ústí nad Labem
OS	Ostrava
BR	Brno
QT	vyhodnocování průtoku (Q), měření teploty vody (T)