

# Změny sladkovodních ekosystémů v prostoru a čase

Z8025 (učebna Z2, pondělí 14.00-15.50)

## 8. Teplotní režim povrchových vod

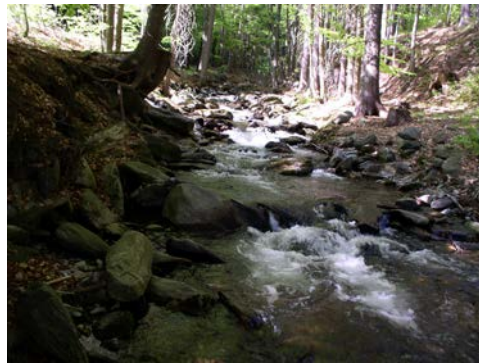
---



**GEOGRAFICKÝ ÚSTAV**  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA MU

**Mgr. Karel Brabec, Ph.D.**

[brabec@sci.muni.cz](mailto:brabec@sci.muni.cz)



# SYLABUS

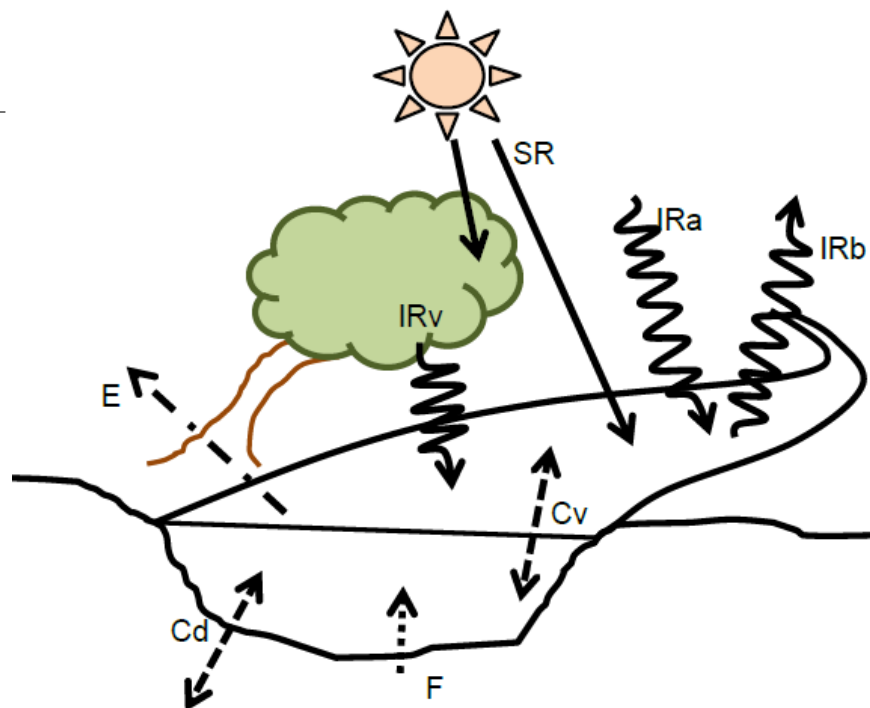
1. Úvod – teoretické koncepty
2. Prostorové škály říční krajiny
3. Změny vodních toků v podélném profilu
4. Laterální a vertikální interakce vodních toků s okolním prostředím
5. Stojaté vody – vztahy k povodí, procesy ve vazbě na prostorové členění
6. Dlouhodobé trendy ve vývoji vodních ekosystémů
7. Sezonní dynamika faktorů prostředí a biologických společenstev
- 8. Teplotní režim povrchových vod**
9. Ekologické aspekty průtokového režimu a hydraulických podmínek
10. Antropogenní modifikace vodních ekosystémů (se zřetelem na časoprostorové aspekty)
11. Potenciální dopady změn klimatu ve sladkovodních ekosystémech
12. Časo-prostorové aspekty adaptačních opatření a revitalizací degradovaných ekosystémů
13. Případové studie

1. řídicí faktory
2. klasifikace podle teplotního režimu
3. dynamika v rámci různých časových škál
4. teplota a procesy (abiotické a biotické)
5. vliv nadmořské výšky a zeměpisné šířky
6. tekoucí vs. stojaté vody
7. povrchové vs. podzemní vody
8. vlivy na vodní organismy
9. antropogenní zásahy do teplotního režimu

- teplota vzduchu
- komunikace s podzemními / intersticiálními vodami
- hydromorfologie (průtok, morfologie koryta, typ údolí)
- antropogenní faktory (nádrže, odpadní vody, chladící voda, management pobřežní vegetace)

**Table 1.** Definitions of the major energy fluxes into (I) and out of (O) a stream. These fluxes occur at the water/air interface and at the water/sediment interface. Note that some fluxes can go either direction.

Convection (Cv)	I,O	Heat brought to the stream surface or carried away from the surface by wind
Conduction (Cd)	I,O	Diffusion of heat from air to water (or vice versa) and from the streambed to water (or vice versa)
Evaporation (E)	O	Evaporation of water at the surface consumes energy, so it is a loss of heat
Back Radiation (IRb)	O	Warm water emits infra-red (IR) radiation into the atmosphere
Atmosphere Radiation (IRa)	I	The atmosphere (especially clouds) emits IR radiation, some of which will hit the water surface
Friction (F)	I	Friction of moving water against the substrate generates heat
Direct Solar Radiation (SR)	I	Sunlight is absorbed by the water and converted to heat; this can be partially blocked by vegetation
Vegetation Radiation (IRv)	I	Overhanging vegetation emits IR radiation, some of which will strike the water surface

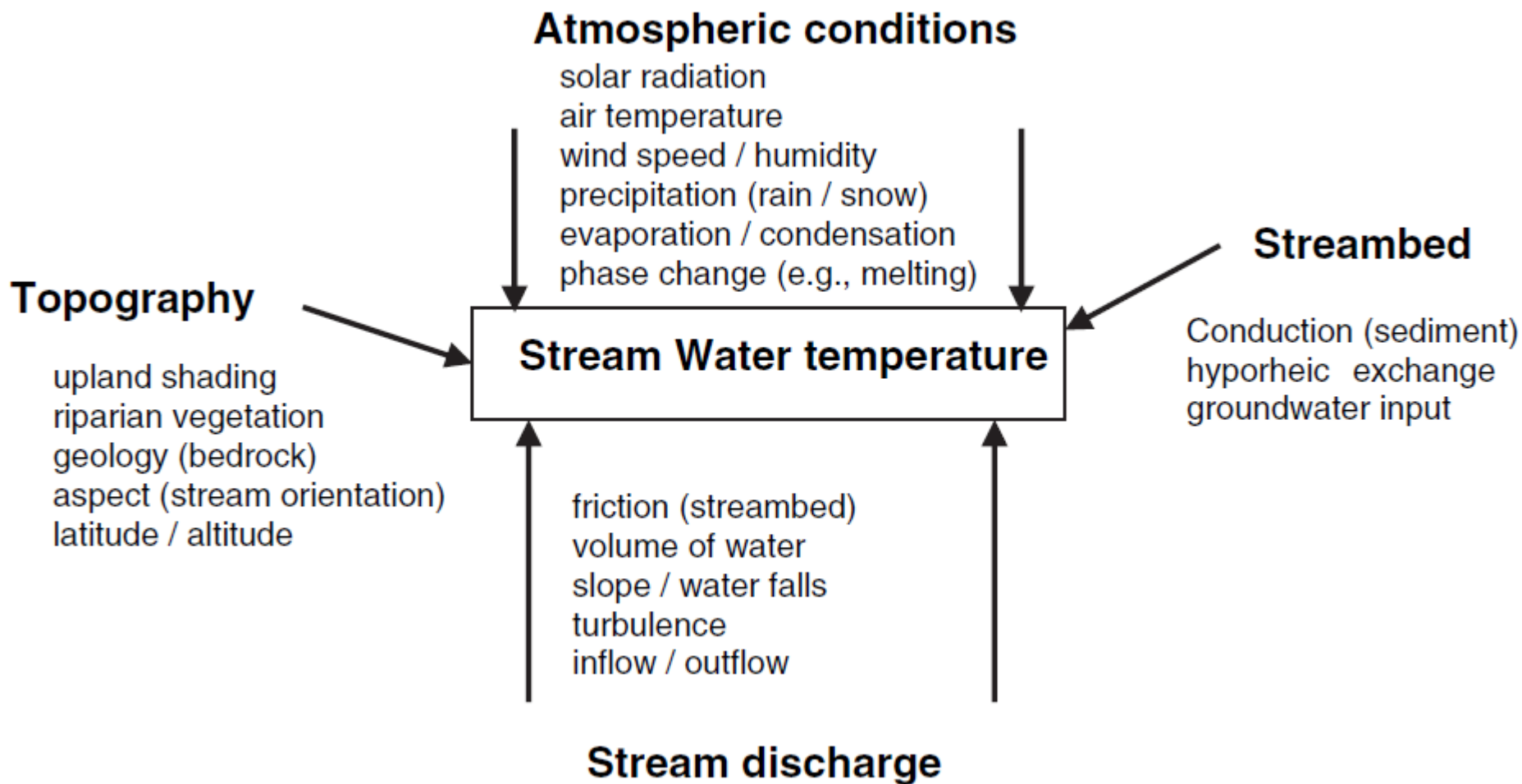


*Freshwater Biology* (2006) 51, 1389–1406

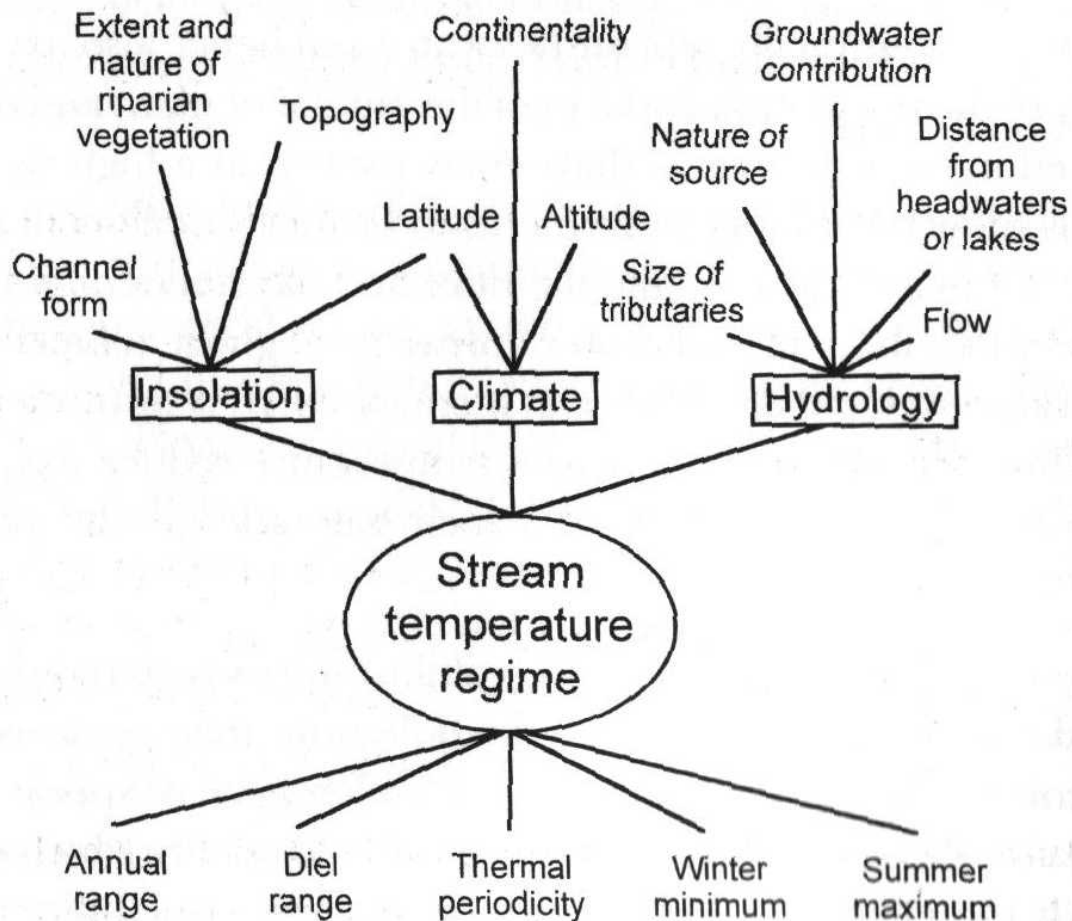
REVIEW ARTICLE

**The thermal regime of rivers: a review**

D. CAISSIE



**Fig. 3.1** Major factors determining a river's temperature regime. (Modified from Ward, 1985. Reproduced with kind permission of Kluwer Academic Publishers.)



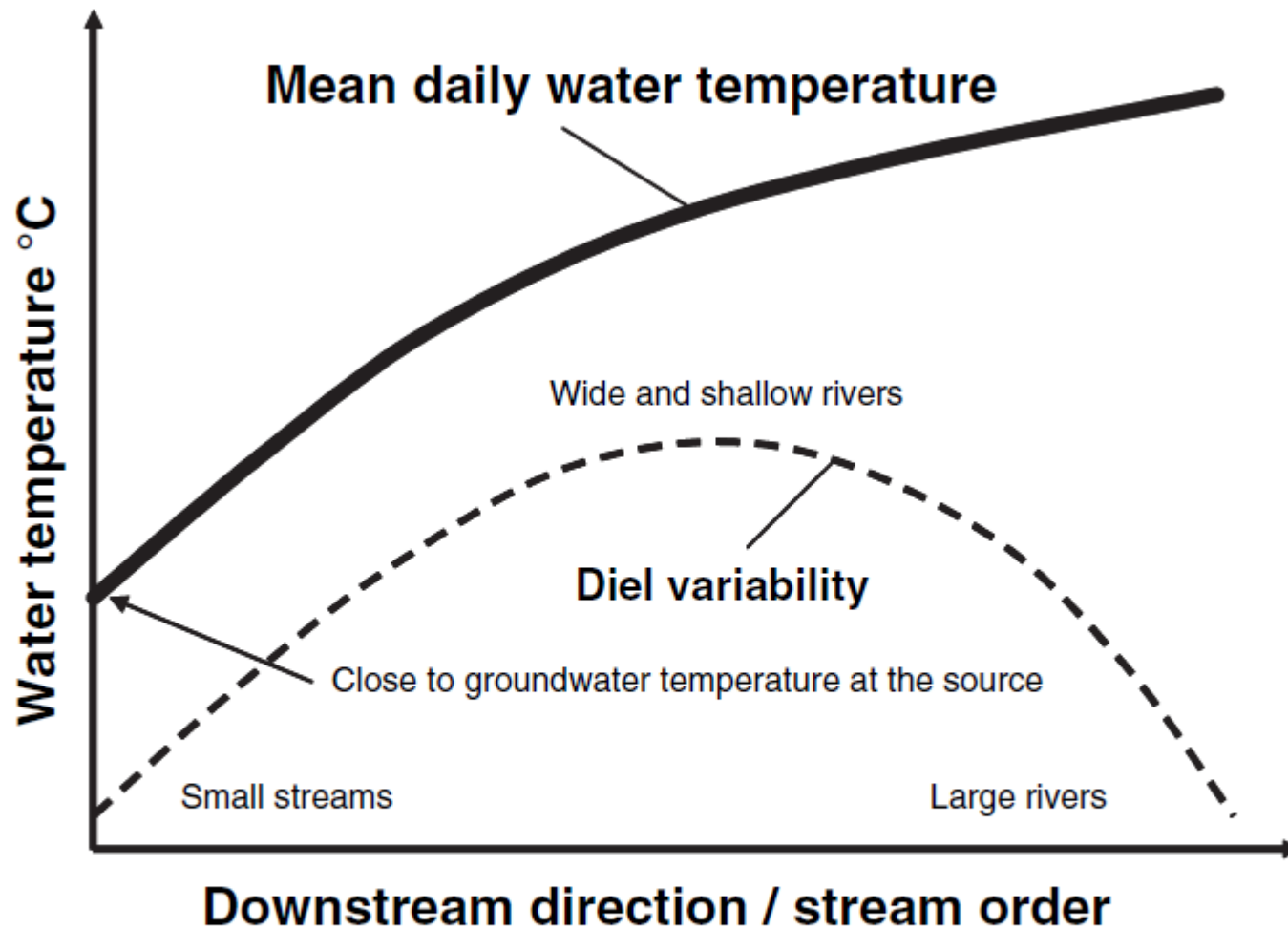


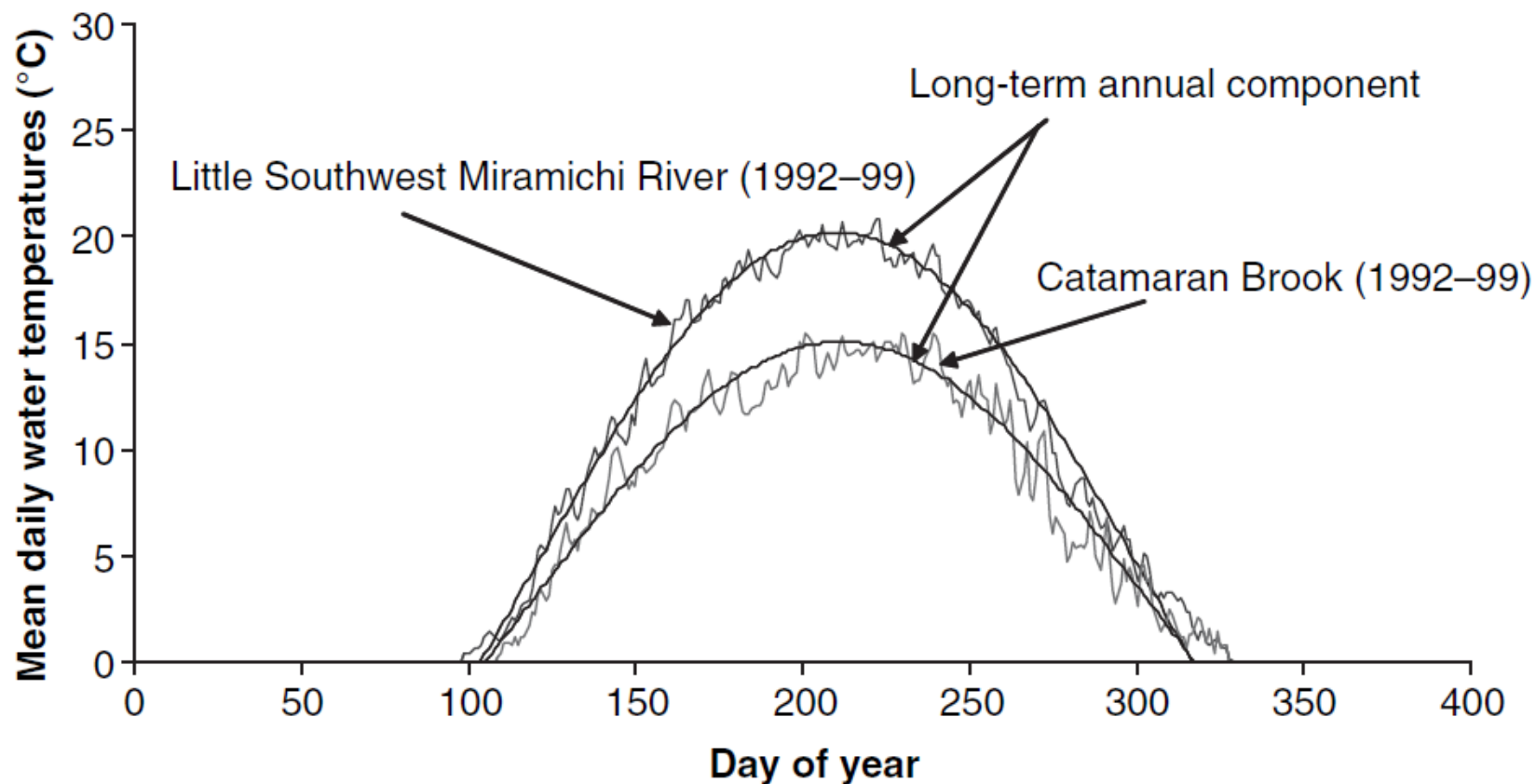
Fig. 2 Mean daily and diel variability of water temperatures as a function of stream order/downstream direction.

*Freshwater Biology* (2006) 51, 1389–1406

REVIEW ARTICLE

## The thermal regime of rivers: a review

D. CAISSIE

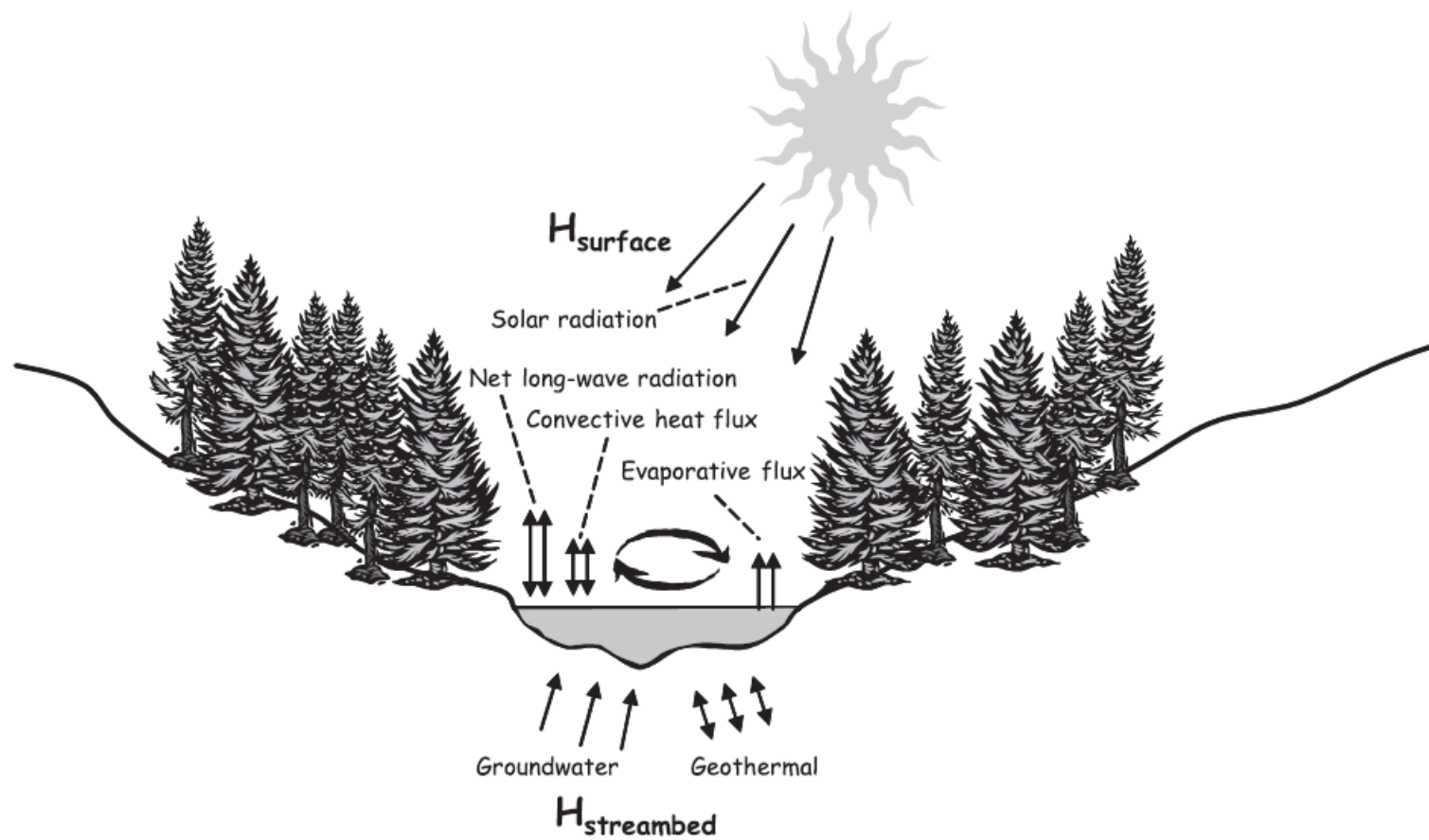




*Freshwater Biology* (2006) 51, 1389–1406

REVIEW ARTICLE

## The thermal regime of rivers: a review



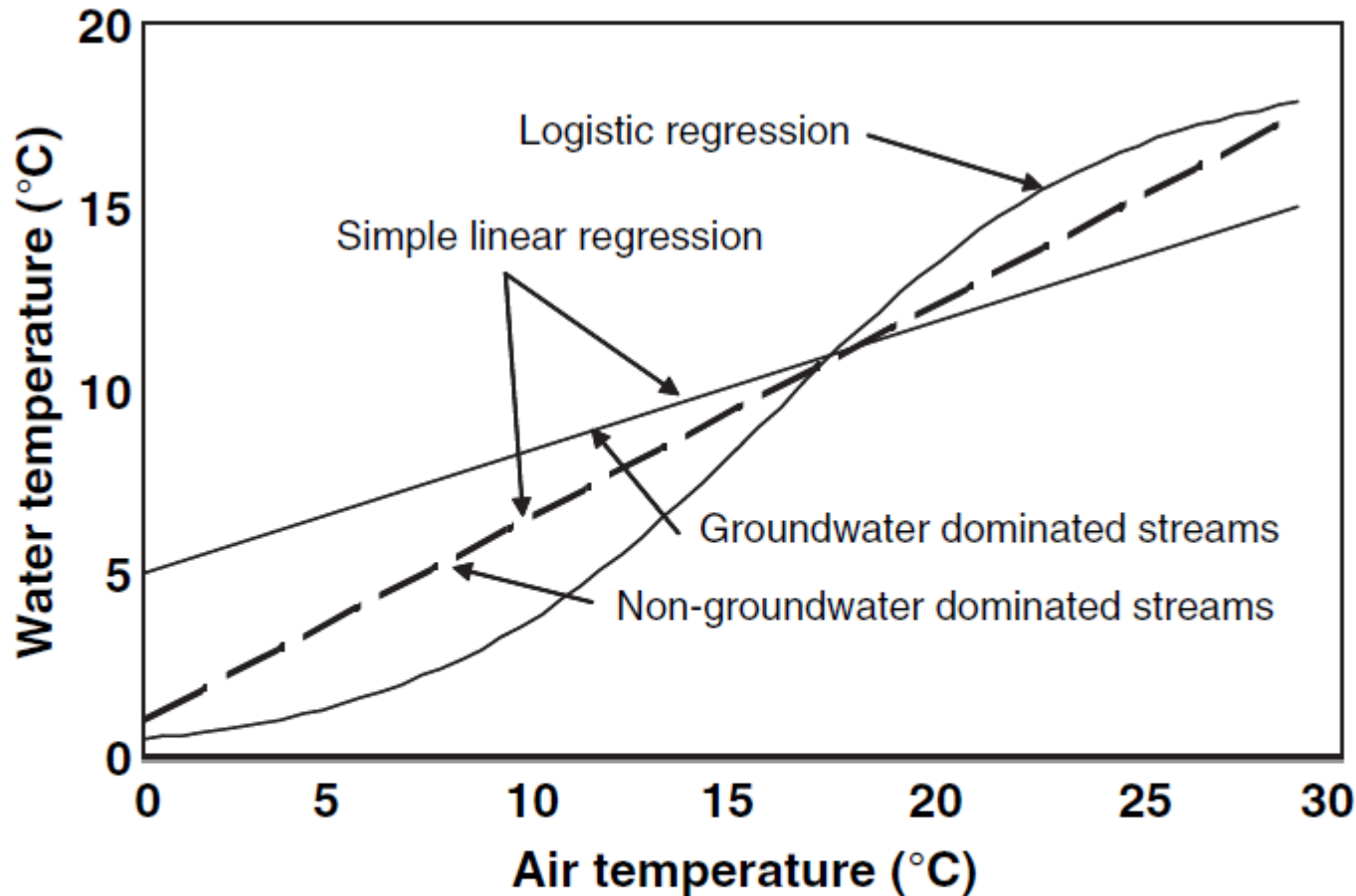


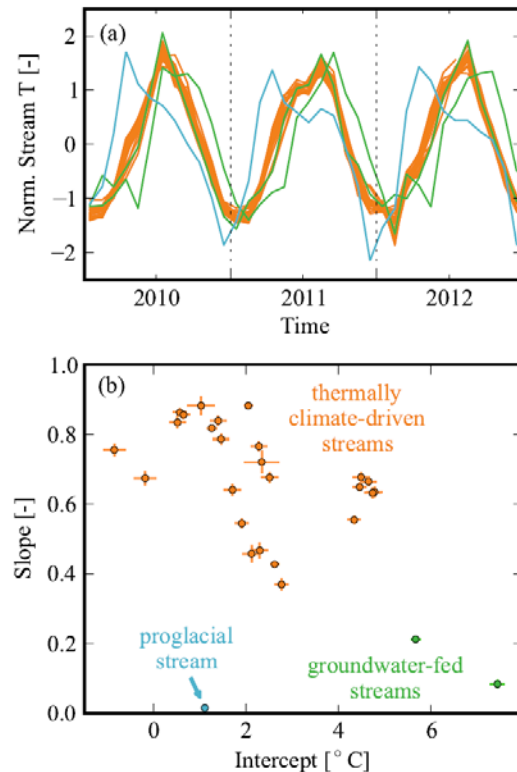
Fig. 5 Simple regression water temperature model (groundwater and non-groundwater streams) and logistic regression model.

Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 3727–3753, 2015  
 www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/3727/2015/  
 doi:10.5194/hess-19-3727-2015  
 © Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.



## Stream temperature prediction in ungauged basins: review of recent approaches and description of a new physics-derived statistical model

A. Gallice<sup>1</sup>, B. Schaeffl<sup>1</sup>, M. Lehning<sup>1,2</sup>, M. B. Parlange<sup>1,3</sup>, and H. Huwald<sup>1</sup>



**Figure 2.** Classification of the thermal regimes of the selected catchments. Streams impacted by groundwater infiltration are shown in green, the proglacial stream in blue and the thermally climate-driven streams in orange. (a) Normalized monthly mean stream temperature curves over 3 consecutive years (2010–2012); all curves are z scored independently each year. (b) Slopes and intercepts of the regression lines fitted to the stream–air temperature points of the respective catchments. All points with negative air temperature values have been discarded prior to fitting. The bars indicate the standard error estimates.

AE: analytical expression

ANN: artificial neural network

CA: cluster analysis

CRT: classification and regression trees

GWR: geographically weighted regression

LMM: linear mixed model

MLR: multi-linear regression

NKM: networked kriging model

NLR: non-linear regression

PA: path analysis

RF: random forest

ULR: univariate linear regression

**Table 1.** List of reviewed publications about statistical stream temperature prediction in ungauged basins.

Reference	Geographic location	Model type <sup>a</sup>	Number of sites	Number of years <sup>b</sup>	Temporal scale	Model precision <sup>b,c</sup>
Arscott et al. (2001)	Italy	MLR	22	1	Season	$R^2 = 0.37-0.8$
Bogan et al. (2003)	Eastern USA	AE	596	30	Week	$R^2 = 0.80, \sigma_e = 3.1 \text{ }^\circ\text{C}$
Chang and Psaris (2013)	Western USA	MLR, GWR	74	n/a	Week, year	$R^2 = 0.52-0.62, \sigma_e = 2.0-2.3 \text{ }^\circ\text{C}$
Daigle et al. (2010)	Western Canada	Various	16	0.5	Month	$\sigma_e = 0.9-2.8 \text{ }^\circ\text{C}$
DeWeber and Wagner (2014)	Eastern USA	ANN	1080	31	Day	$\sigma_e = 1.8-1.9 \text{ }^\circ\text{C}$
Duchame (2008)	France	MLR	88	7	Month	$R^2 = 0.88-0.96, \sigma_e = 1.4-1.9$
Gardner and Sullivan (2004)	Eastern USA	NKM	72	1	Day	$\sigma_e = 1.4 \text{ }^\circ\text{C}$
Garner et al. (2014)	UK	CA	88	18	Month	n/a
Hawkins et al. (1997)	Western USA	MLR	45	$\geq 1$	Year	$R^2 = 0.45-0.64$
Hill et al. (2013)	Conterminous USA	RF	$\sim 1000$	1/site	Season, year	$\sigma_e = 1.1-2.0 \text{ }^\circ\text{C}$
Hrachowitz et al. (2010)	UK	MLR	25	1	Month, year	$R^2 = 0.50-0.84$
Imholt et al. (2013)	UK	MLR	23	2	Month	$R^2 = 0.63-0.87$
Isaak et al. (2010)	Western USA	MLR, NKM	518	14	Month, year	$R^2 = 0.50-0.61, \sigma_e = 2.5-2.8 \text{ }^\circ\text{C}$
Isaak and Hubert (2001)	Western USA	PA	26	1/site	Season	$R^2 = 0.82$
Johnson (1971)	New Zealand	ULR	6	1	Month	n/a
Johnson et al. (2014)	UK	NLR	36	1.5	Day	$R^2 = 0.67-0.90, \sigma_e = 1.0-2.4 \text{ }^\circ\text{C}$
Jones et al. (2006)	Eastern USA	MLR	28	3	Year	$R^2 = 0.57-0.73$
Kelleher et al. (2012)	Eastern USA	MLR	47	2	Day, week	n/a
Macedo et al. (2013)	Brazil	LMM	12	1.5	Day	$R^2 = 0.86$
Mayer (2012)	Western USA	MLR	104	$\geq 2$	Week, month	$R^2 = 0.72, \sigma_e = 1.8 \text{ }^\circ\text{C}$
Miyake and Takeuchi (1951)	Japan	ULR	20	n/a	Month	n/a
Moore et al. (2013)	Western Canada	MLR	418	1/site	Year	$\sigma_e = 2.1 \text{ }^\circ\text{C}$
Nelitz et al. (2007)	Western Canada	CRT	104	1/site	Year	n/a
Nelson and Palmer (2007)	Western USA	MLR	16	3	Season	$R^2 = 0.36-0.88$
Ozaki et al. (2003)	Japan	ULR	5	8	Day	n/a
Pratt and Chang (2012)	Western USA	MLR, GWR	51	1/site	Season	$R^2 = 0.48-0.78$
Risley et al. (2003)	Western USA	ANN	148	0.25	Hour, season	$\sigma_e = 1.6-1.8 \text{ }^\circ\text{C}$
Rivers-Moore et al. (2012)	South Africa	MLR	90	1/site	Month, year	$R^2 = 0.14-0.50$
Ruesch et al. (2012)	Western USA	NKM	165	15	Year	$R^2 = 0.84, \sigma_e = 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$
Segura et al. (2014)	Conterminous USA	MLR	171	$\geq 1.5$	Week, month	$R^2 = 0.79$
Sponseller et al. (2001)	Eastern USA	MLR	9	1	Year	$R^2 = 0.81-0.93$
Scott et al. (2002)	Eastern USA	MLR	36	1/site	Season	$R^2 = 0.82$
Stefan and Preud'homme (1993)	Eastern USA	ULR	11	n/a	Day, week	$\sigma_e = 2.1-2.7 \text{ }^\circ\text{C}$
Tague et al. (2007)	Western USA	MLR	43	4	Day	$R^2 = 0.49-0.65$
Wehrly et al. (2009)	Eastern USA	Various	1131	1/site	Month	$\sigma_e = 2.0-3.0 \text{ }^\circ\text{C}$
Westenbroek et al. (2010)	Eastern USA	ANN	254	1/site	Day	$R^2 = 0.70, \sigma_e = 1.8 \text{ }^\circ\text{C}$
Young et al. (2005)	New Zealand	MLR	23	1	Season	$R^2 = 0.75-0.93$

<sup>a</sup> AE: analytical expression; ANN: artificial neural network; CA: cluster analysis; CRT: classification and regression trees; GWR: geographically weighted regression; LMM: linear mixed model; MLR: multi-linear regression; NKM: networked kriging model; NLR: non-linear regression; PA: path analysis; RF: random forest; ULR: univariate linear regression.

<sup>b</sup> n/a: not available.

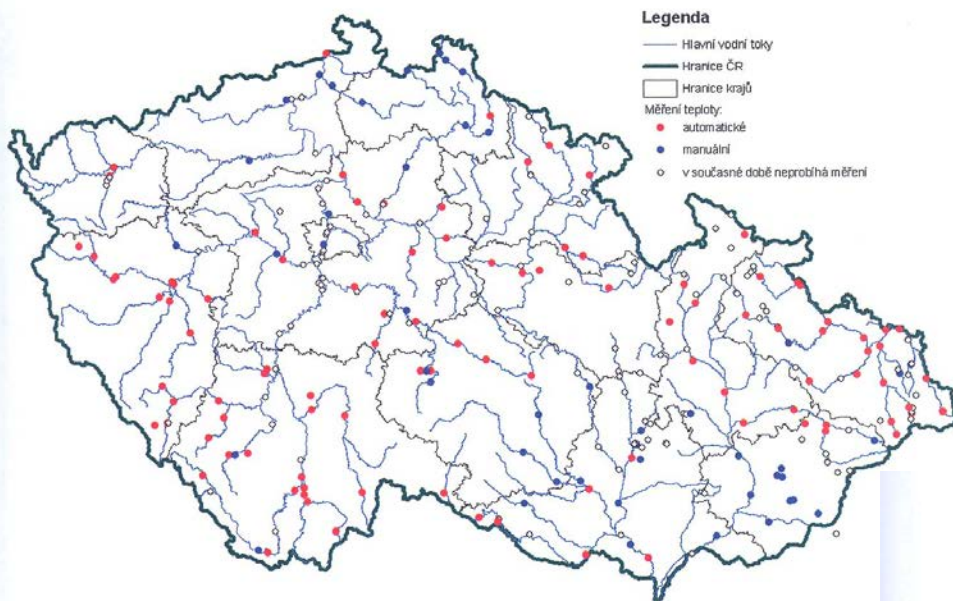
<sup>c</sup>  $\sigma_e$ : root-mean-square error;  $R^2$ : coefficient of determination (sometimes referred to as the Nash-Sutcliffe index).

Hydrology and Earth System Sciences  
 www.hydrology-earth-system-sci.net/19/3727/2015/  
 doi:10.5194/hess-19-3727-2015  
 Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.

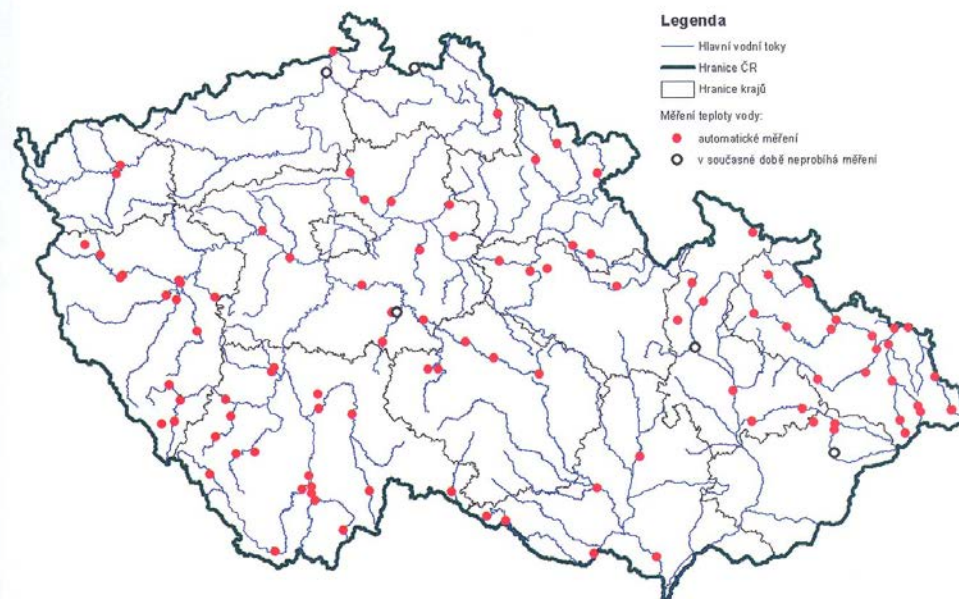


## Stream temperature prediction in ungauged basins: review of recent approaches and description of a new physics-derived statistical model

J. Gallicc<sup>1</sup>, B. Schaefli<sup>1</sup>, M. Lehning<sup>1,2</sup>, M. B. Parlange<sup>1,3</sup>, and H. Hsu<sup>1,4</sup>



Obr. 2.1. Přehled vodoměrných stanic s měřením denních hodnot teploty vody



Obr. 2.2. Přehled vodoměrných stanic s měřením hodinových hodnot teploty vody

## modely s teplotou vzduchu

$$t_{vr} = 1,755 t_{or} - 5,1$$

$t_{vr}$  ... průměrná roční teplota vody (°C)

$t_{or}$  ... průměrná roční teplota vzduchu (°C)

Hydrologické poměry ČSSR

## modely s nadmořskou výškou

$$t_{vr} = 11,62 - 0,0102 H$$

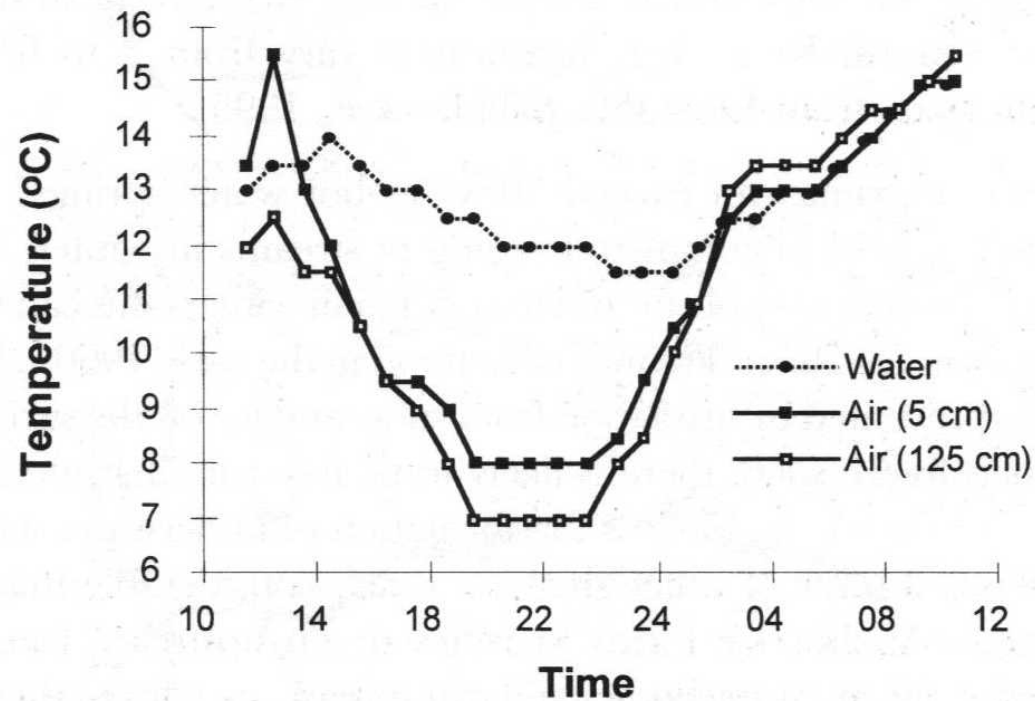
$t_{vr}$  ... průměrná roční teplota vody (°C)

H ... nadmořská výška profilu (m n.m.)

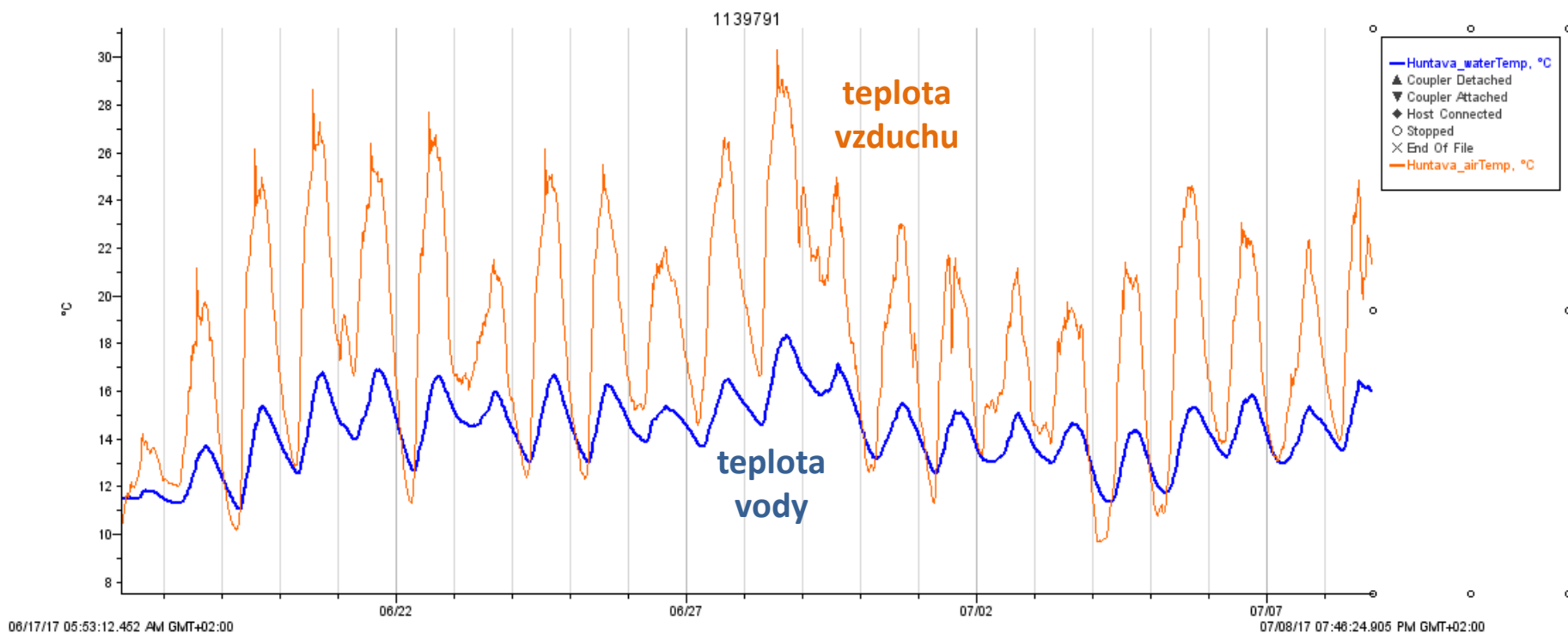
Hydrologické poměry ČSSR

- možnost využití průměrné nadmořské výšky v povodí
- zahrnutí průtoku nebo výměny tepla
- jiné než lineární vztahy

**Fig. 3.2** Diurnal temperature fluctuations in a wooded, temperate, shallow stream in March, compared to air temperatures 5 cm and 125 cm above the stream. (Unpublished data, P.Giller.)



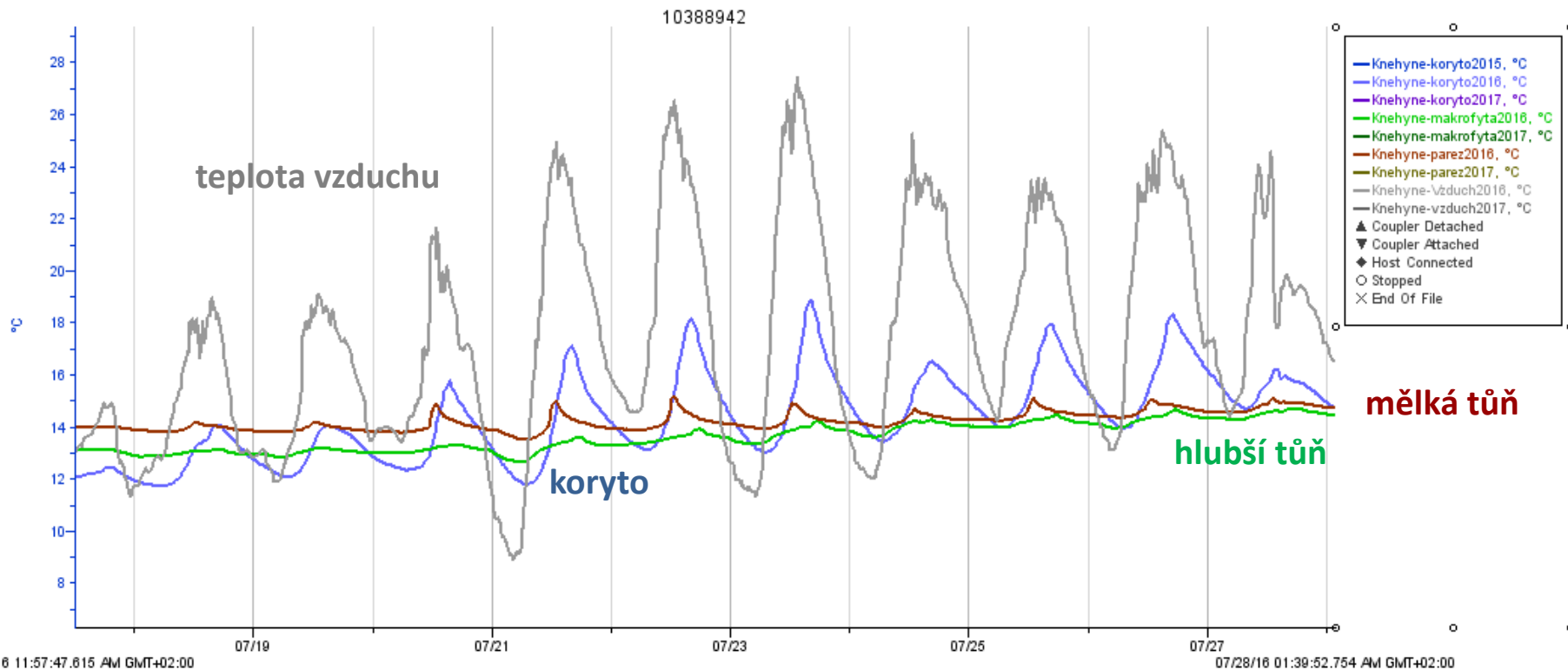
## Huntava (Valšův Důl)



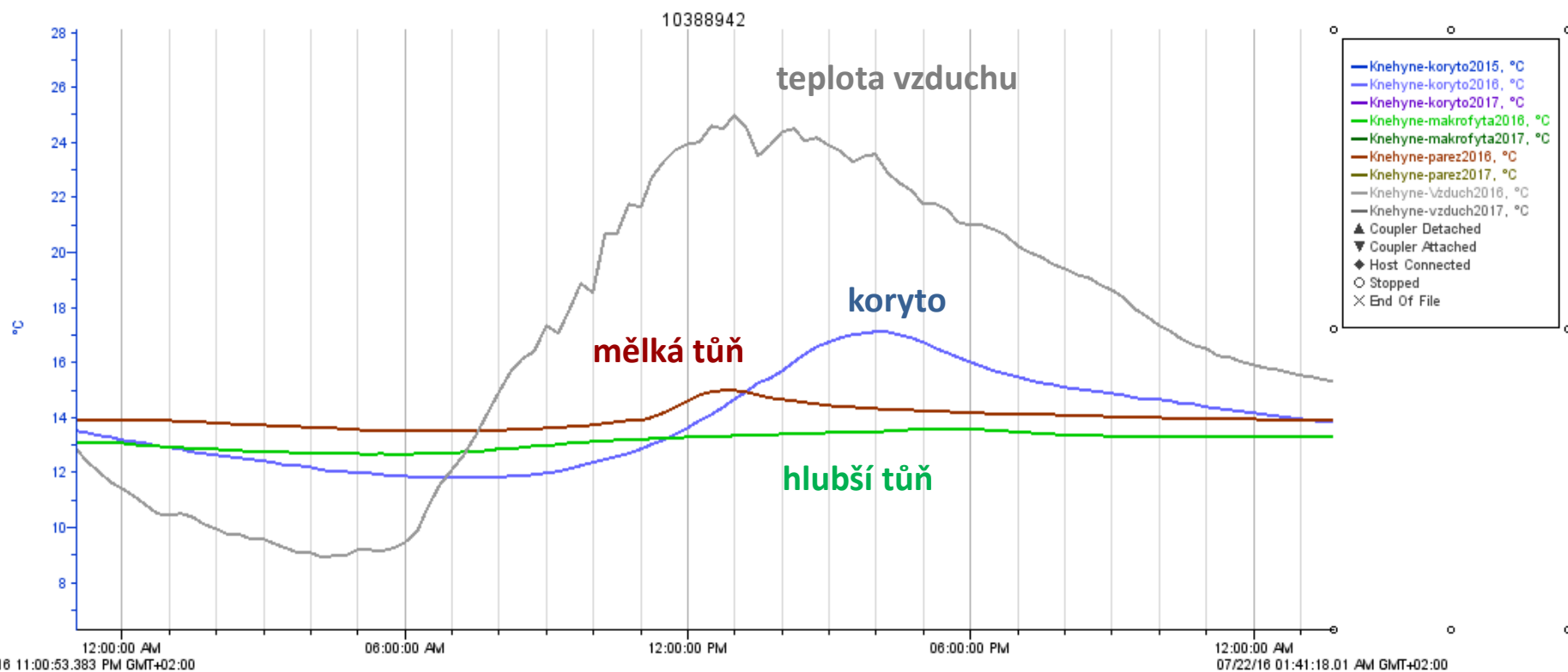
18.6.-8.7. 2017



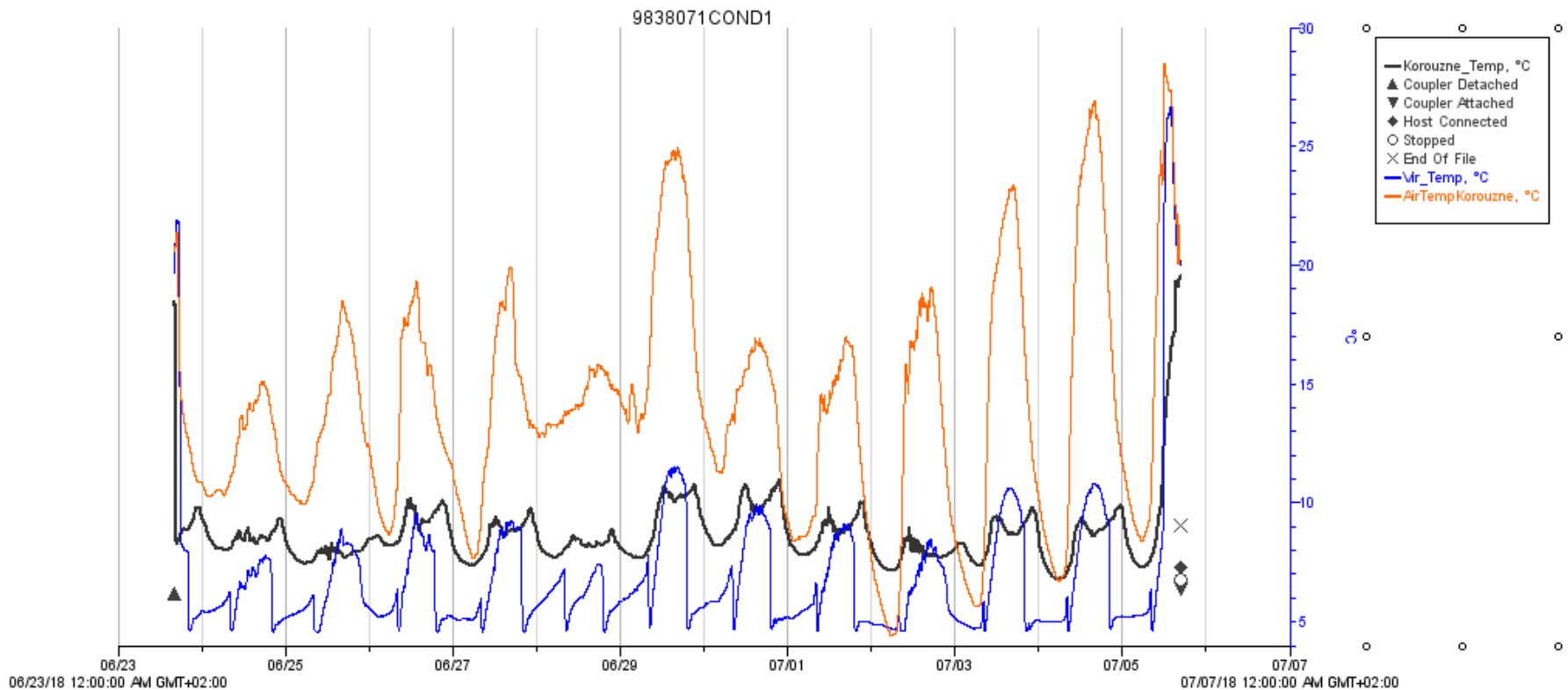
18-28/7/2016: Kněhyně – hlavní koryto a tůň sekundárního koryta



20/7/2016 – 24 hodin



- nádrže
- odpadní vody
- chladicí voda
- management pobřežní vegetace



- řídicí faktory
- **klasifikace podle teplotního režimu**
- dynamika v rámci různých časových škál
- teplota a procesy (abiotické a biotické)
- vliv nadmořské výšky a zeměpisné šířky
- tekoucí vs. stojaté vody
- povrchové vs. podzemní vody
- vlivy na vodní organismy
- antropogenní zásahy do teplotního režimu

- Horváthová, 1969 (klasifikace slovenských toků)

TEPLOTNÍ KLASIFIKACE VODNÍCH TOKŮ

Skupina	R o z p ě t í   v e   °C				
	průměrné roční teploty vody	rozkyvu průměrných měsíčních teplot v roce	maximálních průměrných měsíčních teplot	Prům. tepl. vody v období	
				nevegetačním	vegetačním
1	5,4 - 7,0	10,4 - 15,0	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 /6,6 - 9,2/	10,6 - 19,5 /10,6 - 14,9/	11,7 - 20,2 /11,7 - 16,9/	2,6 - 6,0 /2,6 - 6,0/	9,1 - 16,4 /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

Skupina	R o z p ě t í    v e    °C				
	průměrné roční teploty vody	rozkyvu průměrných měsíčních teplot v roce	maximálních průměrných měsíčních teplot	Prům. tepl. vody v období	
				nevegetačním	vegetačním
1	5,4 - 7,0	10,4 - 15,0	11,3 - 15,1	1,9 - 2,8	8,8 - 11,9

- toky vyšších i nižších pohoří
- nízká teplota po celý rok
- dlouhodobá průměrná roční teplota nepřekročí 7°C
- maximum z měsíčních průměrů je obvykle dosahováno v VII nebo VIII a nepřekročí 15, 1°C
- *Labe po Vrchlabí, Úpa po Horní Maršov, Odra po Spálov, Ostravice po Šance, Svratka po Dalečín*

Skupina	R o z p ě t í    v e    °C				
	průměrné roční teploty vody	rozkyvu průměrných měsíčních teplot v roce	maximálních průměrných měsíčních teplot	Prům. tepl. vody v období	
				nevegetačním	vegetačním
2	7,1 - 8,5	11,7 - 16,6	13,4 - 17,1	2,4 - 4,2	10,8 - 14,0

- toky nižších pohoří, podhorské úseky větších toků
- teplota ve vegetačním i nevegetačním období výrazně vyšší než u sk.1
- *Teplá po Ústí, Ohře po Kadaň, Úpa od Mošnova, Metuje, Orlice, Opava po Děhylov, Morava po Moravičany, Jihlava po Jihlavu*

Skupina	R o z p ě t í    v e    ° C				
	průměrné roční teploty vody	rozkyvu průměrných měsíčních teplot v roce	maximálních průměrných měsíčních teplot	Prům. tepl. vody v období	
				nevegetačním	vegetačním
3	8,6 - 10,0	16,0 - 19,9	16,9 - 20,6	2,6 - 4,2	13,4 - 16,3

- dolní úseky středně velkých toků
- střední a dolní úseky velkých toků (kromě jižní Moravy)
- charakteristická vysokým ročním průměrem a vyšší teplotou ve vegetačním období (o 2,5 °C vyšší než sk. 2)
- *Labe od Hradce Králového, Jizera od Mladé Boleslavi, Vltava od Českých Budějovic, Berounka, Sázava od Poříčí, Lužnice od Tábora, Ohře od Loun, Odra od Svinova po Ostravu, Morava od Moravičan, Jihlava od Jihlavy po Pohořelice*



Skupina	R o z p ě t í    v e    ° C				
	průměrné roční teploty vody	rozkyvu průměrných měsíčních teplot v roce	maximálních průměrných měsíčních teplot	Prům. tepl. vody v období	
				nevegetačním	vegetačním
4	10,1 - 11,9	19,2 - 20,2	20,9 - 22,3	3,5 - 5,5	16,7 - 18,5

- nížinné toky jižní Moravy
- ve vegetačním období teploty vyšší o 2,7 °C než sk3
- v nevegetačním období teploty vyšší o 1,1 °C než sk3
- *Dyje od Znojma, Jihlava od Pohořelic, Morava na území Slovenska*

Skupina	R o z p ě t í    v e    °C				
	průměrné roční teploty vody	rozkyvu průměrných měsíčních teplot v roce	maximálních průměrných měsíčních teplot	Prům. tepl. vody v období	
				nevegetačním	vegetačním
5a	6,6 - 10,3 /6,6 - 9,2/	10,6 - 19,5 /10,6 - 14,9/	11,7 - 20,2 /11,7 - 16,9/	2,6 - 6,0 /2,6 - 6,0/	9,1 - 16,4 /9,1 - 14,4/

- úseky toků ovlivněné nádržemi
- nemění roční průměr, ale rozdělení teploty během roku
- oteplení toku v zimě a ochlazení v létě
- v závorce jsou údaje bez nádrží s krátkou dobou zdržení – Brněnská přehrada, případně Štěchovice a Vrané nad Vltavou před výstavbou vltavské kaskády

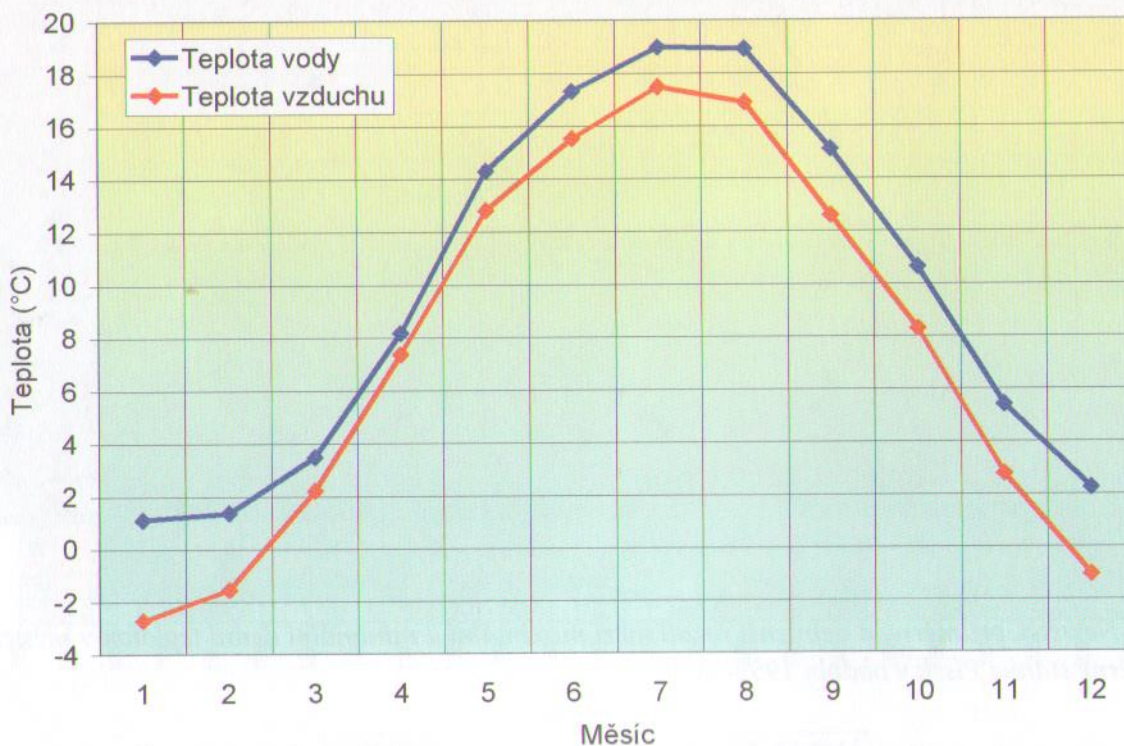
Skupina	R o z p ě t í    v e    ° C				
	průměrné roční teploty vody	rozkyvu průměrných měsíčních teplot v roce	maximálních průměrných měsíčních teplot	Prům. tepl. vody v období	
				nevegetačním	vegetačním
5b	8,8 - 13,3	14,7 - 20,1	17,6 - 24,5	3,3 - 7,7	14,0 - 19,5

- úseky toků ovlivněné oteplenými odpadními vodami

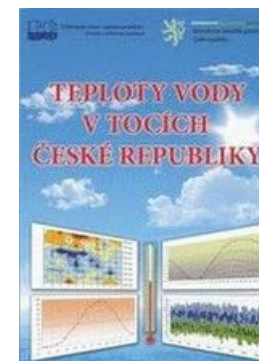
- teplotní režim ovlivněný vydatnými podzemními prameny
- vyrovnanější teploty v průběhu roku
- možné přirovnat k tokům skupiny 5a (ovlivněné nádržemi)
- 
- *Punkva, Svitava*

- řídicí faktory
- klasifikace podle teplotního režimu
- **dynamika v rámci různých časových škál**
- teplota a procesy (abiotické a biotické)
- vliv nadmořské výšky a zeměpisné šířky
- tekoucí vs. stojaté vody
- povrchové vs. podzemní vody
- vlivy na vodní organismy
- antropogenní zásahy do teplotního režimu

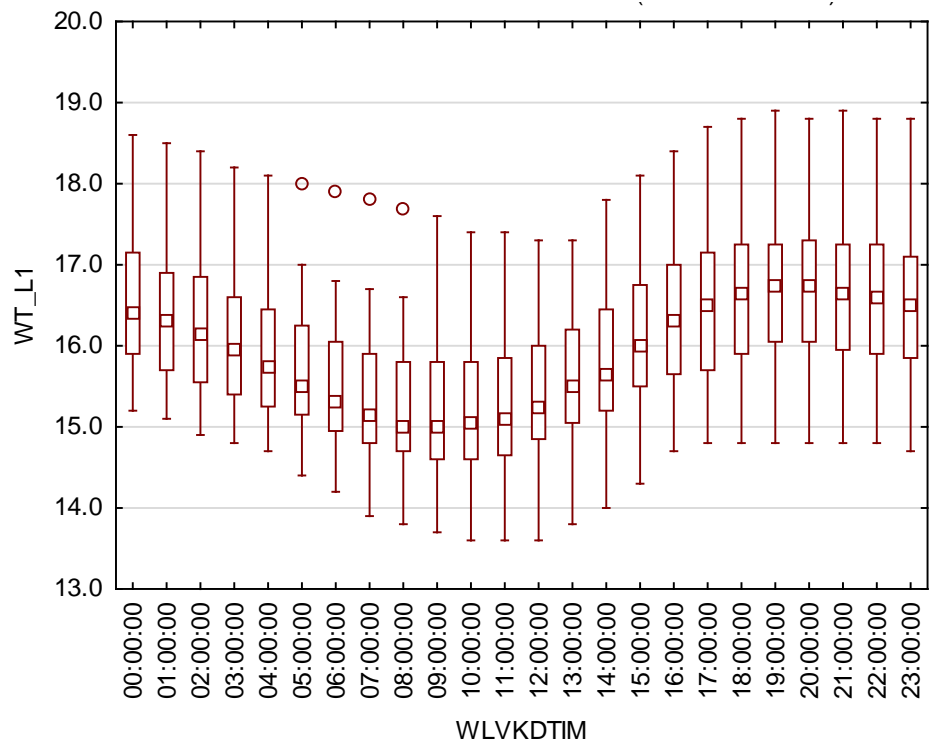
- amplituda, průměr, degree days
- časování minim a maxim, překročení prahových hodnot



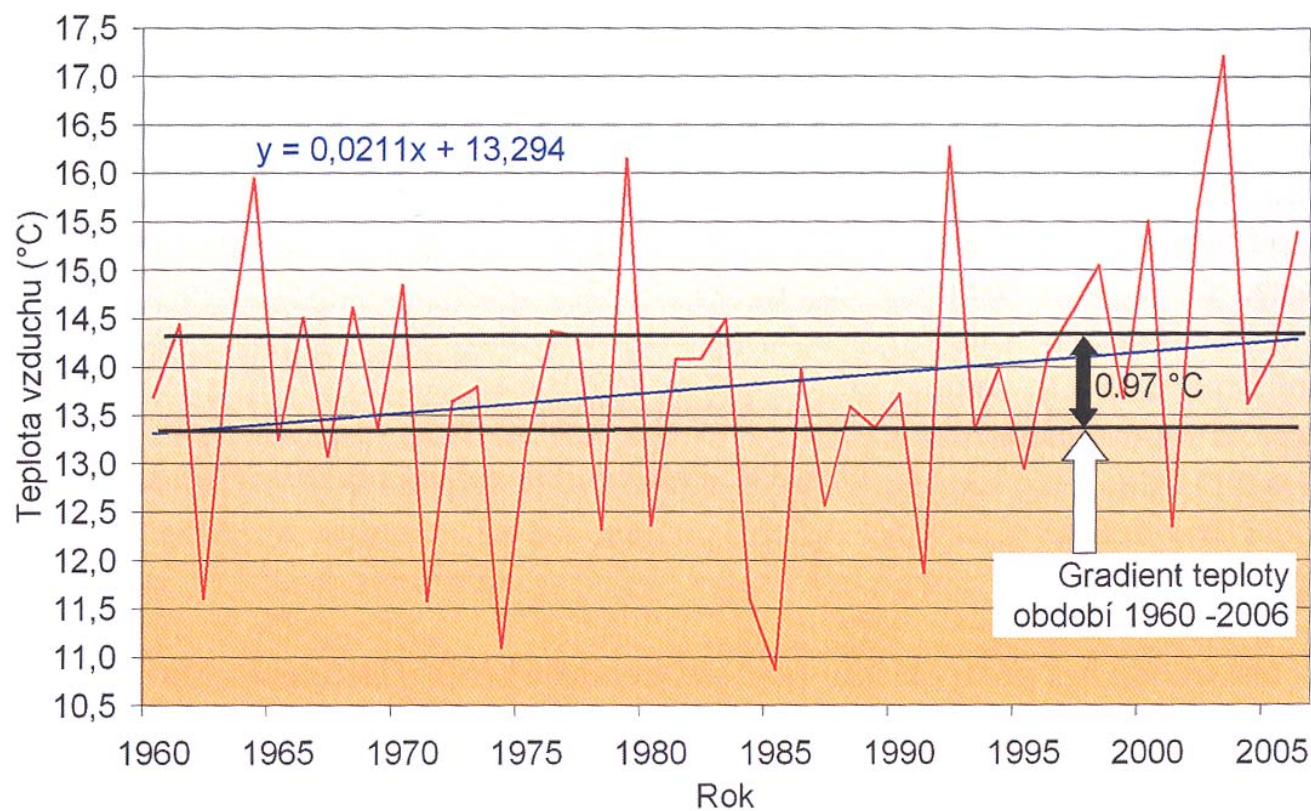
Obr. 4.13. Ukázka typického ročního chodu teploty vzduchu a teploty vody (povodí řeky Bečvy po vodoměrnou stanici Dluhonice, období 1980–2006)



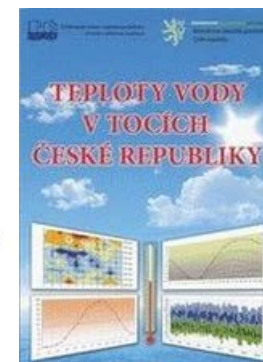
- minima většinou kolem 8 hod, maxima 17-18 hod (v létě dříve)
- posun oproti teplotě vzduchu (min. 6-7 hod, max. 13-14 hod)



Svratka – Dalečín (1996)



Obr. 3.6. Gradient teploty vzduchu v povodí Jizery po Železný Brod v měsíci červnu za období let 1960–2006

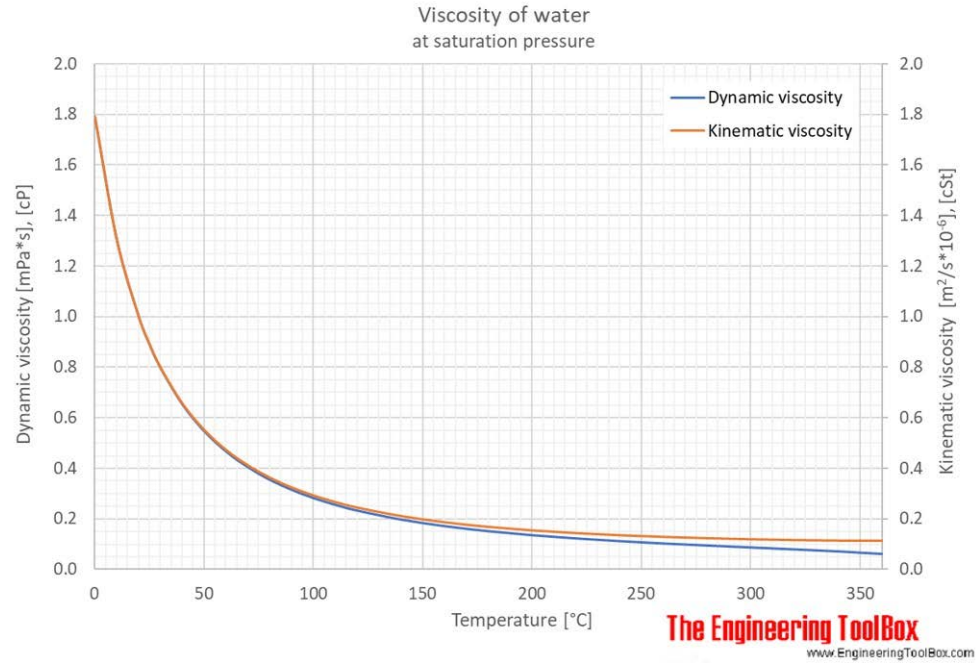
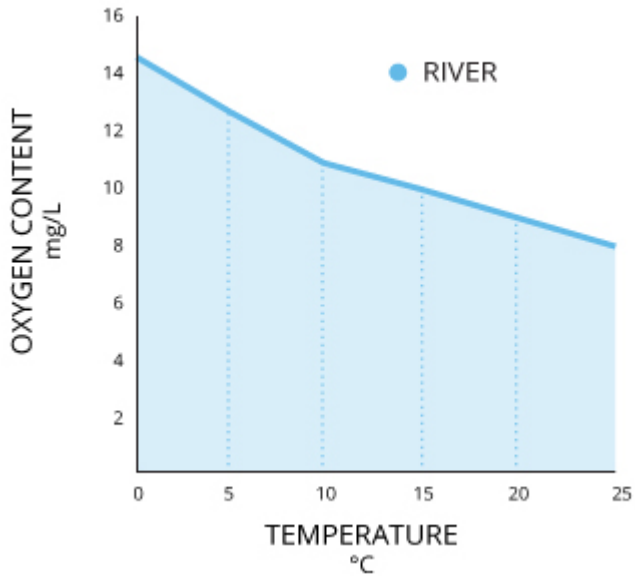




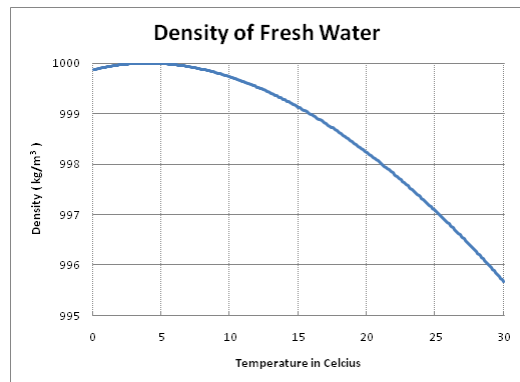
- řídicí faktory
- klasifikace podle teplotního režimu
- dynamika v rámci různých časových škál
- **teplota a procesy (abiotické a biotické)**
- vliv nadmořské výšky a zeměpisné šířky
- tekoucí vs. stojaté vody
- povrchové vs. podzemní vody
- vlivy na vodní organismy
- antropogenní zásahy do teplotního režimu

# TEPLOTA A PROCESY (ABIOTICKÉ A BIOTICKÉ)

- samočistící procesy (rozklad organické hmoty, denitrifikace)
- kyslíkový režim
- viskozita vody



The Engineering ToolBox  
www.EngineeringToolBox.com



- řídicí faktory
- klasifikace podle teplotního režimu
- dynamika v rámci různých časových škál
- teplota a procesy (abiotické a biotické)
- **vliv nadmořské výšky a zeměpisné šířky**
- tekoucí vs. stojaté vody
- povrchové vs. podzemní vody
- vlivy na vodní organismy
- antropogenní zásahy do teplotního režimu

- v tropických tocích dochází díky celoročním vysokým teplotám k rozvoji produktivity ve vodách i přilehlých pobřežních systémech
- vyšší teploty také podporují rozklad listového opadu na březích (vyšší mikrobiální aktivita)
- pokud mikrobi a bezobratlí soutěží o limitované zdroje organické hmoty, zdá se, že v podmínkách tropických toků (vyšší teplota) mají mikrobi kompetiční výhodu

Ward (1985) showed, by studying many rivers in the *Southern Hemisphere* that the thermal regime of rivers was dependent on too many factors to have a clear classification, although a pattern emerged when rivers were classified into 'equatorial', 'tropical' and 'temperate', based on their maximum annual temperature and temperature range.

*Freshwater Biology* (1997) 38, 247–261

## Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude

DEAN JACOBSEN,\* RIKKE SCHULTZ\* AND ANDREA ENCALADA†

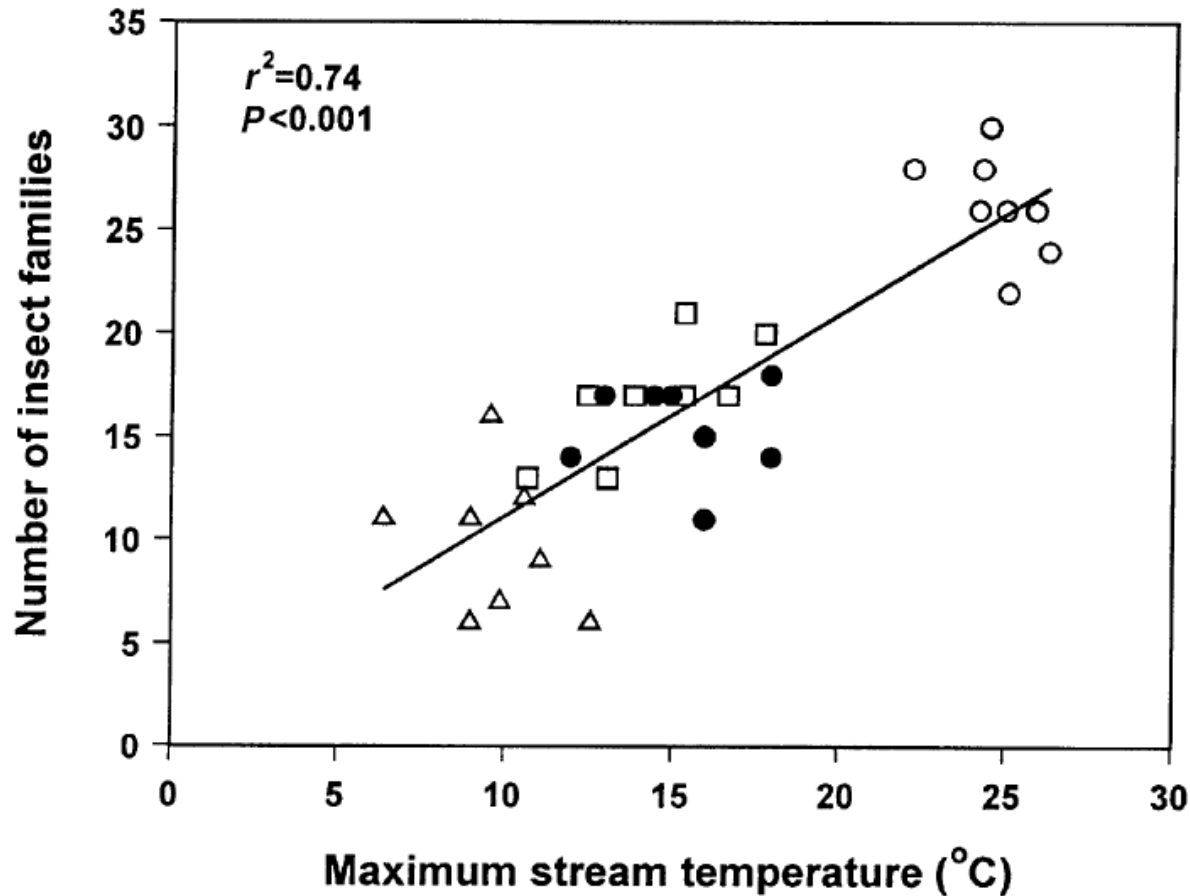


Fig. 2 Significant regressions of insect family richness of stream insects and mean stream width, percentage of gravel and pebble in the substratum and maximum stream temperature for three regions in Ecuador and one in Denmark. ○ = streams from the Ecuadorian lowland, □ = streams from the Ecuadorian Central valley, △ = streams from the Ecuadorian páramo, and ● = the Danish lowland streams. Regression coefficients are provided.

- teplota v pramenné oblasti ovlivněna přítoky podzemních vod, zastíněním a úzkým korytem
- koncentrace CO<sub>2</sub> vysoká v pramenné oblasti (produkt půdního metabolismu)

## Running Waters

Historical development and restoration of lowland Danish streams by Kaj Sand-Jensen, Nikolai Friberg & John Murphy (editors)

© National Environmental Research Institute, Denmark  
Published 2006

Figure 3.2 There are systematic changes in mean depth, velocity, light attenuation and temperature along the river continuum from source to outlet. Summer measurements in 208 Danish stream reaches illustrate the patterns. Columns sharing a common letter are not significantly different from each other. [Sand-Jensen and Riis, unpubl.].

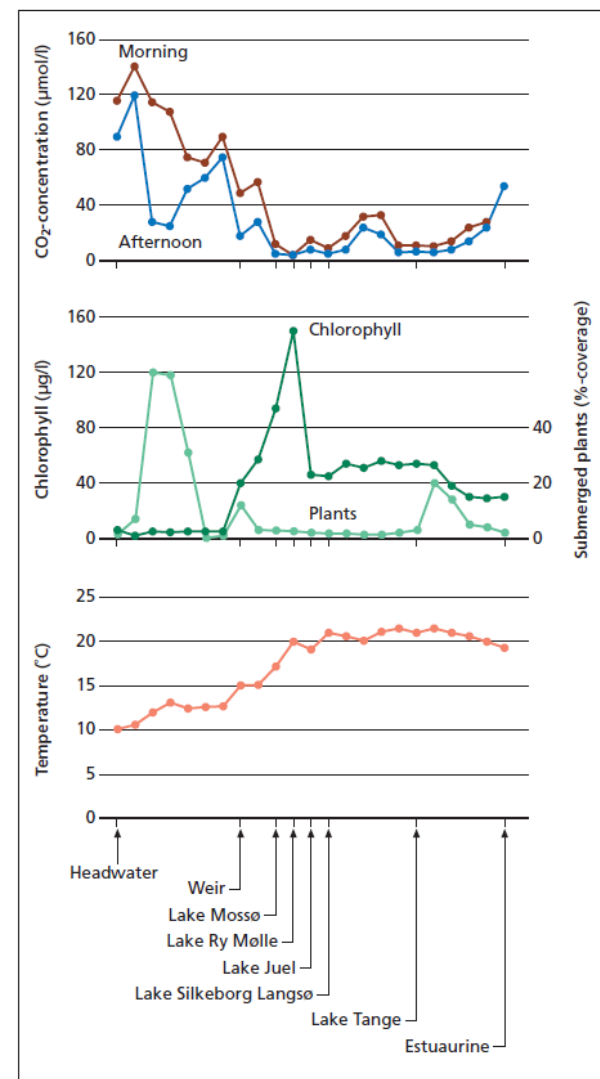
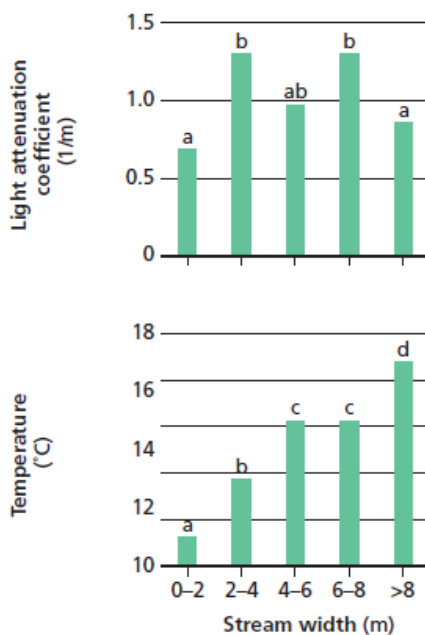
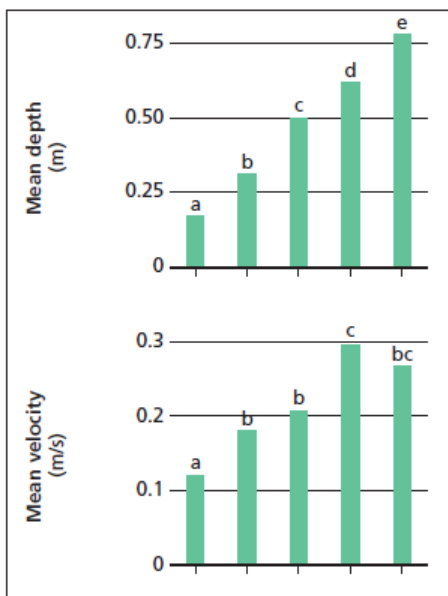


Figure 3.4 River Gudenå has many weirs and interspersed lakes. CO<sub>2</sub> concentrations and macrophyte cover decline downstream during summer, while there is an increase in phytoplankton biomass and temperature.

- řídicí faktory
- klasifikace podle teplotního režimu
- dynamika v rámci různých časových škál
- teplota a procesy (abiotické a biotické)
- vliv nadmořské výšky a zeměpisné šířky
- **tekoucí vs. stojaté vody**
- povrchové vs. podzemní vody
- vlivy na vodní organismy
- antropogenní zásahy do teplotního režimu

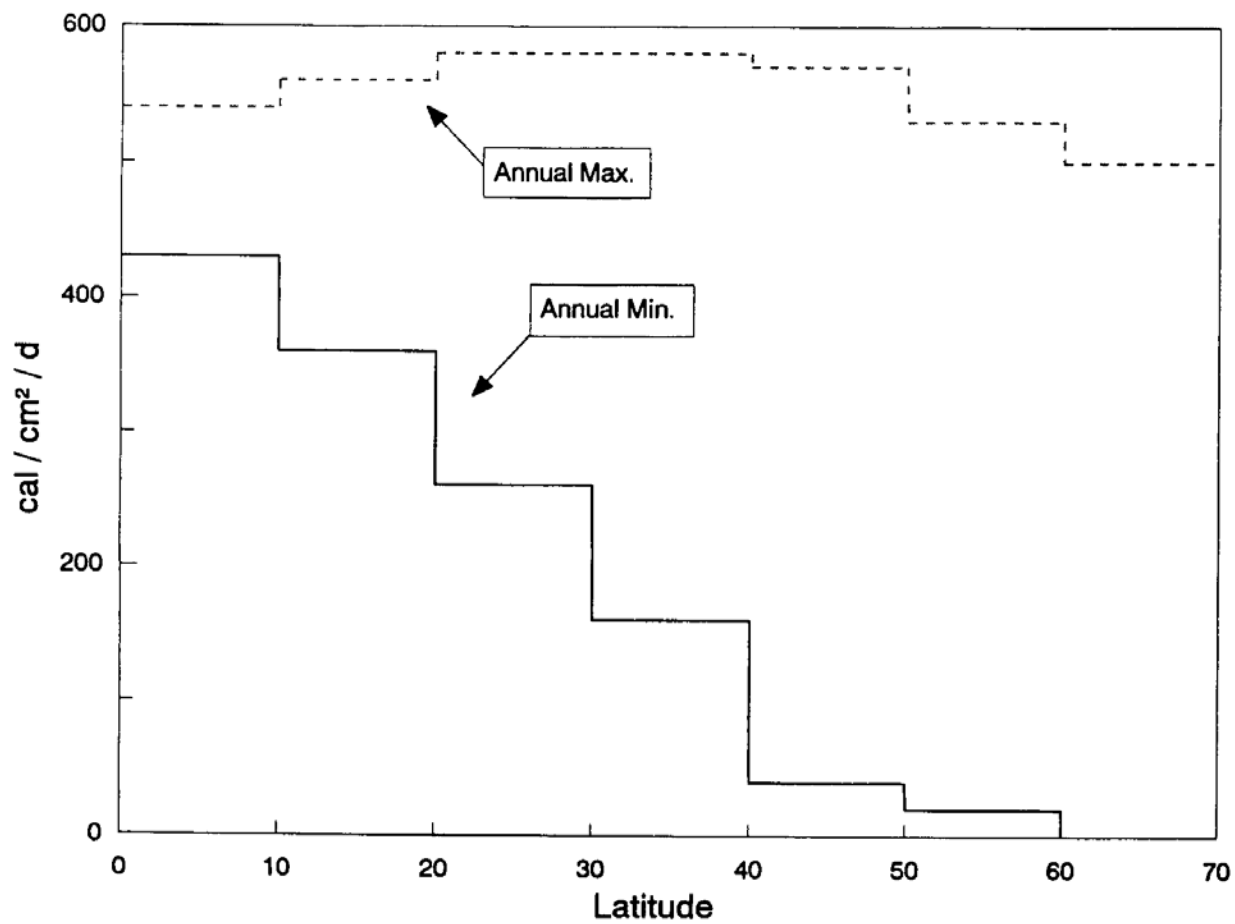


Fig. 5. Annual maximum and annual minimum irradiance as a function of latitude. Redrawn from Lewis 1987.



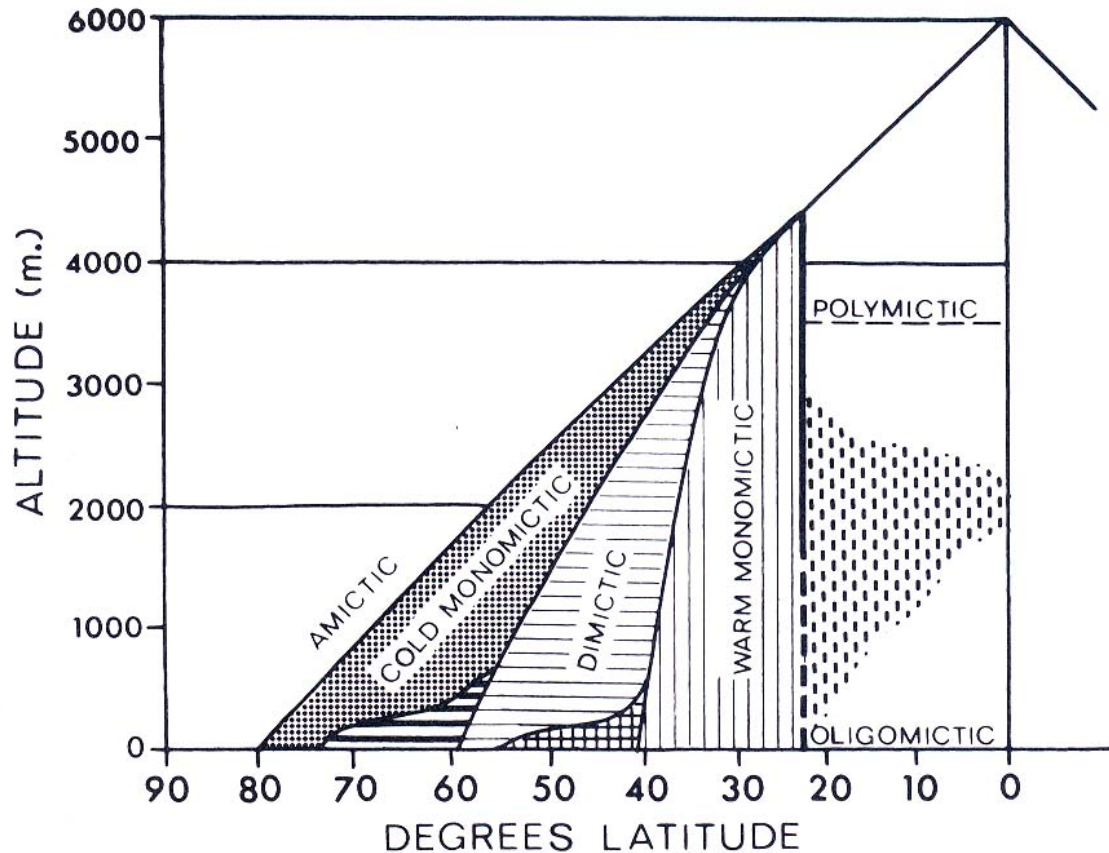
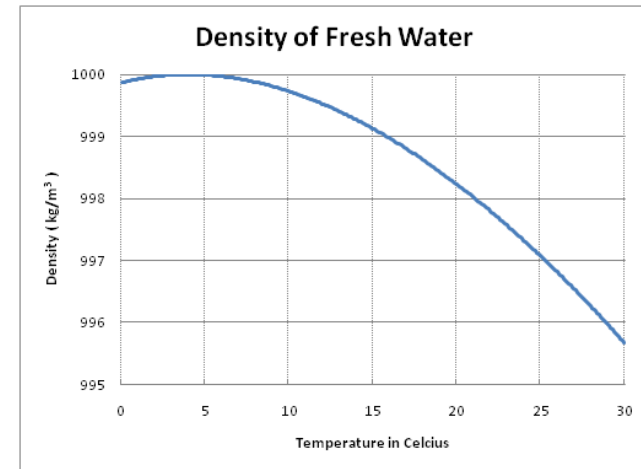


FIGURE 6-7 Schematic arrangement of thermal lake types with latitude and altitude. Black dots: cold monomictic; black-and-white horizontal bars: transitional regions; horizontal lines: dimictic; crossed lines: transitional regions; vertical lines: warm monomictic. The two equatorial types occupy the unshaded areas labeled oligomictic and polymictic, separated by a region of mixed types, mainly variants of the warm monomictic type (broken vertical lines). (Modified from Hutchinson and Löffler, 1956.)



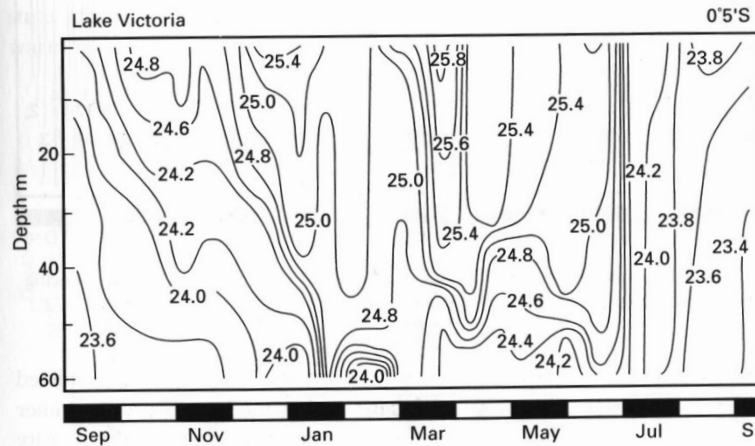


Fig. 6.11 Depth-time diagram of thermal stratification in a tropical lake, Lake Victoria, Uganda. Isotherms are in °C. (Based on Talling [941].)

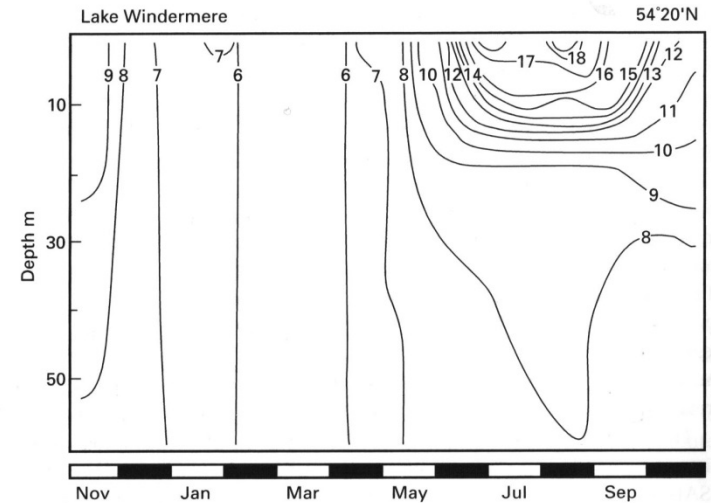


Fig. 6.12 Depth-time diagram of thermal stratification in a temperate lake experiencing a maritime climate, Lake Windermere, English Lake District. Isotherms are in °C. (Based on Jenkin [480].)

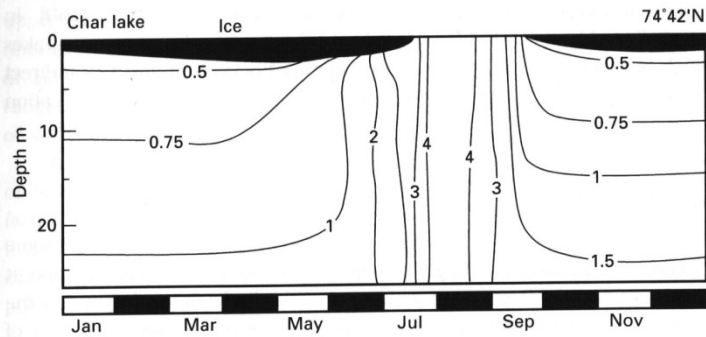


Fig. 6.14 Depth-time diagram of thermal stratification in a polar lake, Char Lake, Canadian Arctic. Isotherms are in °C. (Based on Schindler *et al.* [867].)

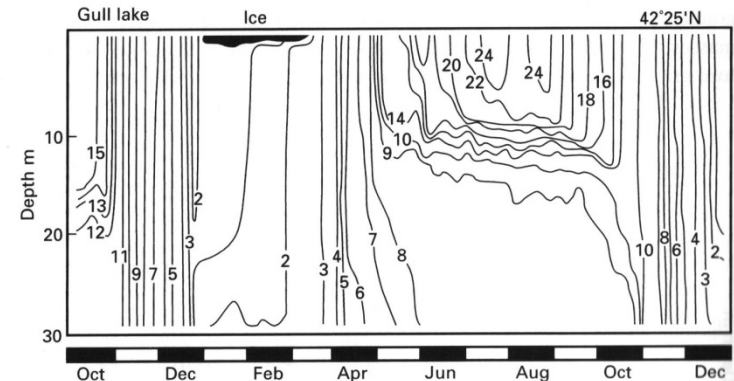
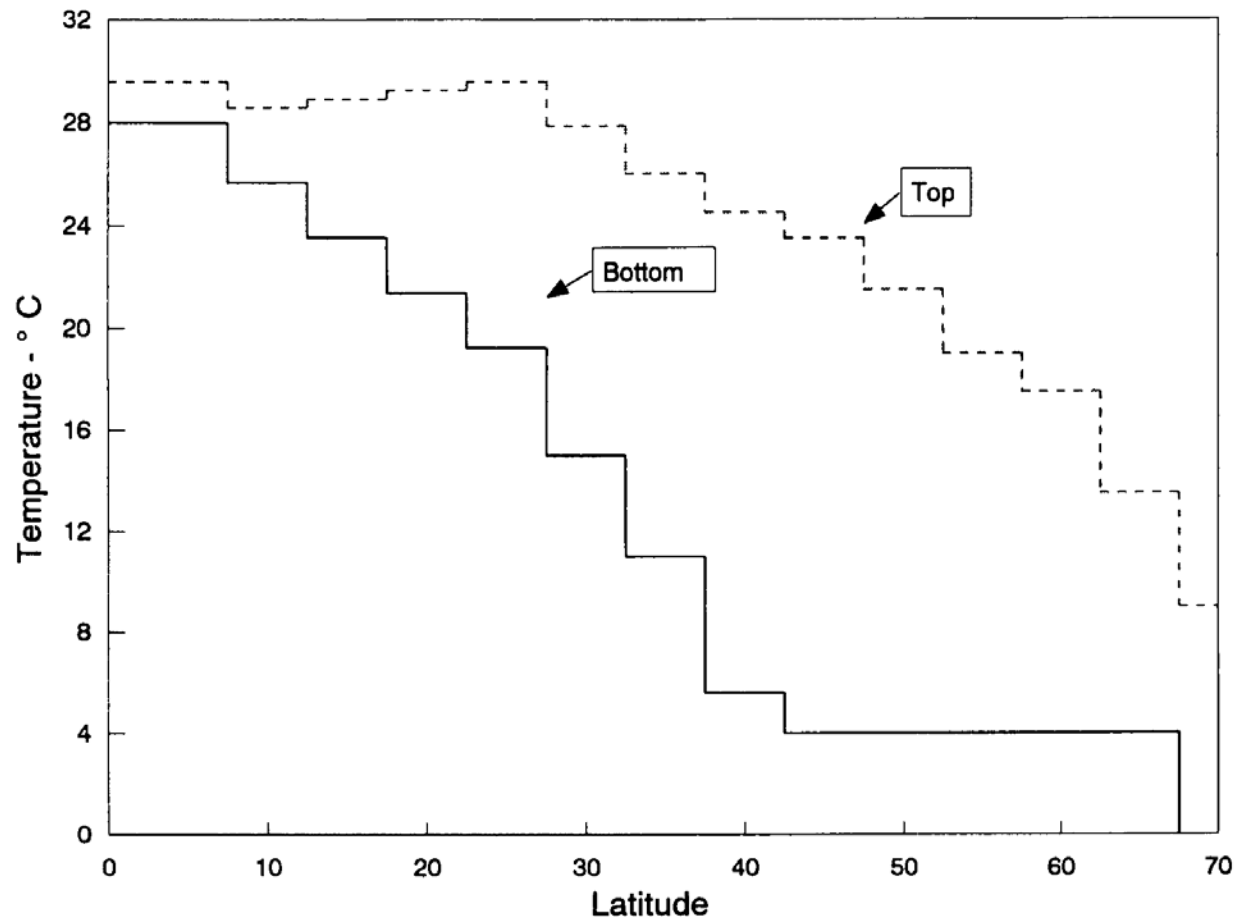


Fig. 6.13 Depth-time diagram of thermal stratification in a temperate lake experiencing a continental climate, Gull Lake, Michigan. Isotherms are in °C. (Based on Moss [672].)



*Fig. 7.* Temperatures at the top (excluding transient diurnal increases) and bottom of lakes during stratification, shown as a function of latitude. Redrawn from Lewis 1987.

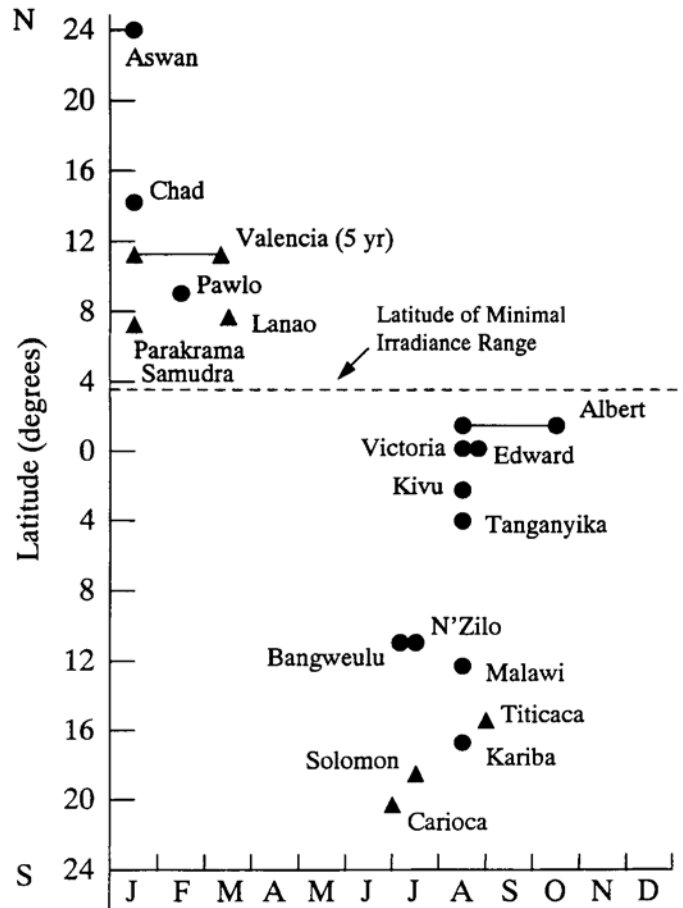


Fig. 8. Timing of the annual surface temperature minimum for a selection of tropical lakes in both hemispheres. Data represented by solid dots are from Talling 1969. Other sources are as follows: Valencia, Venezuela, Lewis 1983b, 1984; Lanao, Philippines, Lewis 1973; Parakrama Samudra, Sri Lanka, Dobesch 1983; Titicaca, Peru/Bolivia, Vincent et al. 1985; Carioca, Brazil, Henry and Barbosa 1989.

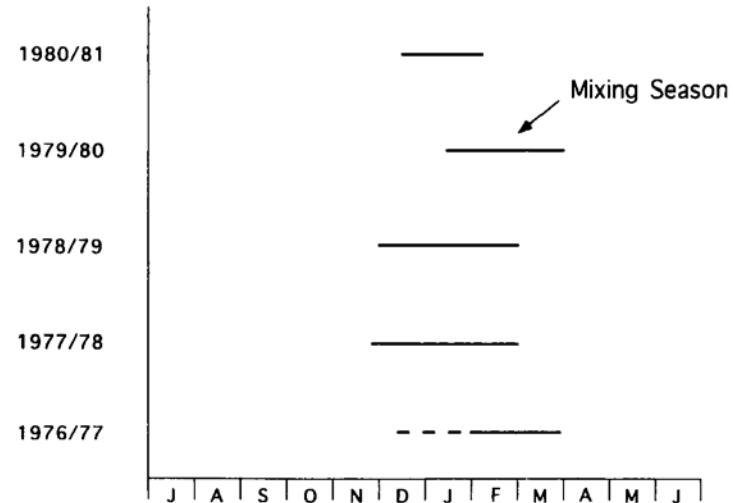


Fig. 9. Illustration of regularity in the timing of the seasonal mixing over a 5-year interval for Lake Valencia, Venezuela. Data are from Lewis 1984.

In this way, the mixed layer episodically becomes thicker and thinner, even though the water column remains stratified.

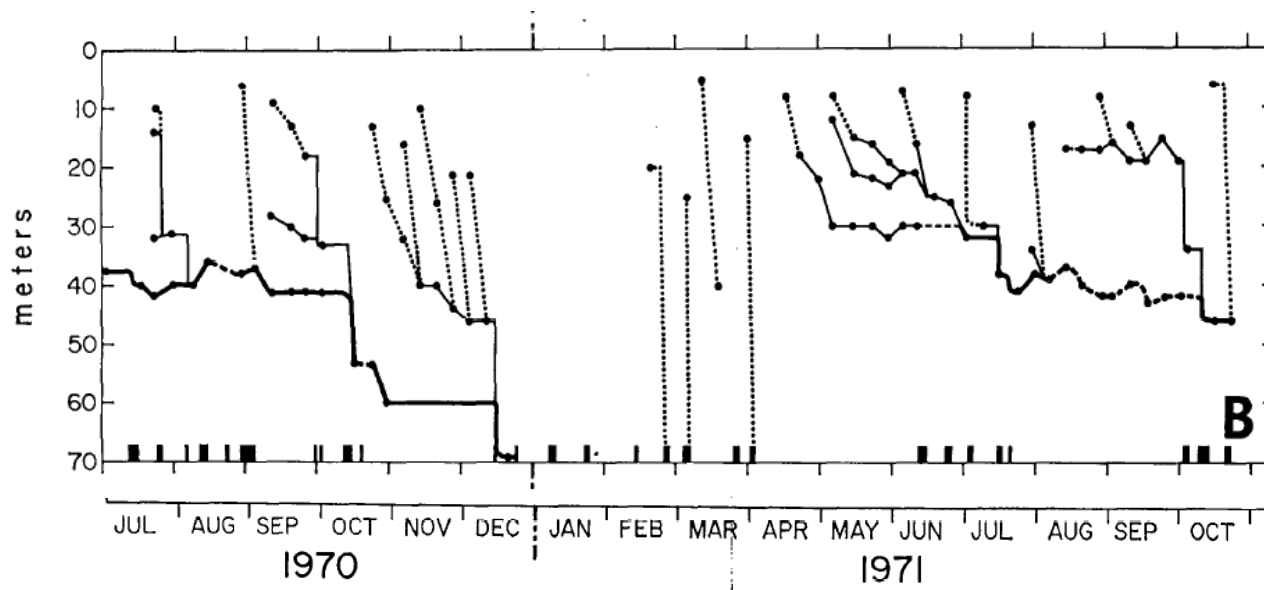
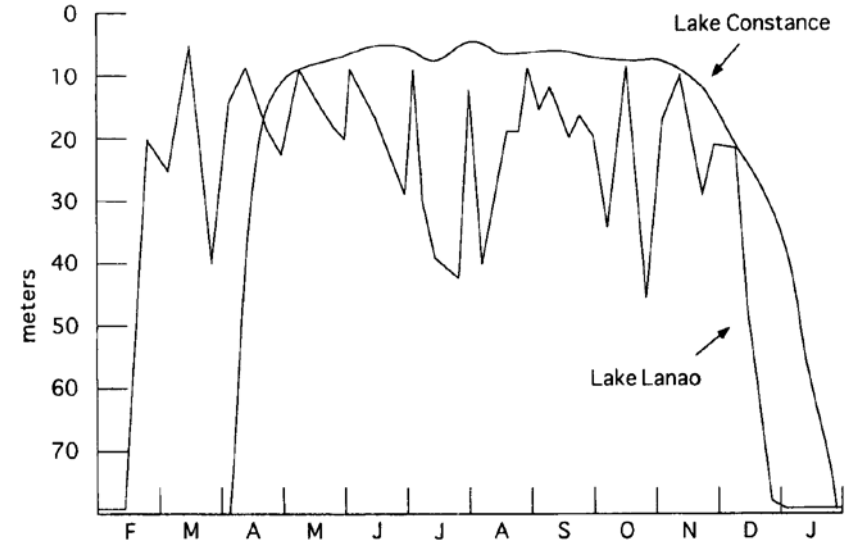
Another factor that may affect the thickness of the mixed layer is the Coriolis effect (Lewis 1987). For unconstrained water movements, the geostrophic deflection of water currents moving directly north or south, or with a significant component of movement either north or south, is quite substantial. The effect of this deflection is to reduce the water current velocity that can be generated by a

## hloubka skočné vrstvy

tropické jezero (Lanao, Filipíny)

mírný pás (Constance – Bodamské jezero)

A comparison of mixed layers in a tropical and a temperate lake of similar size (data from Lewis 1973, Hollan et al. 1990).



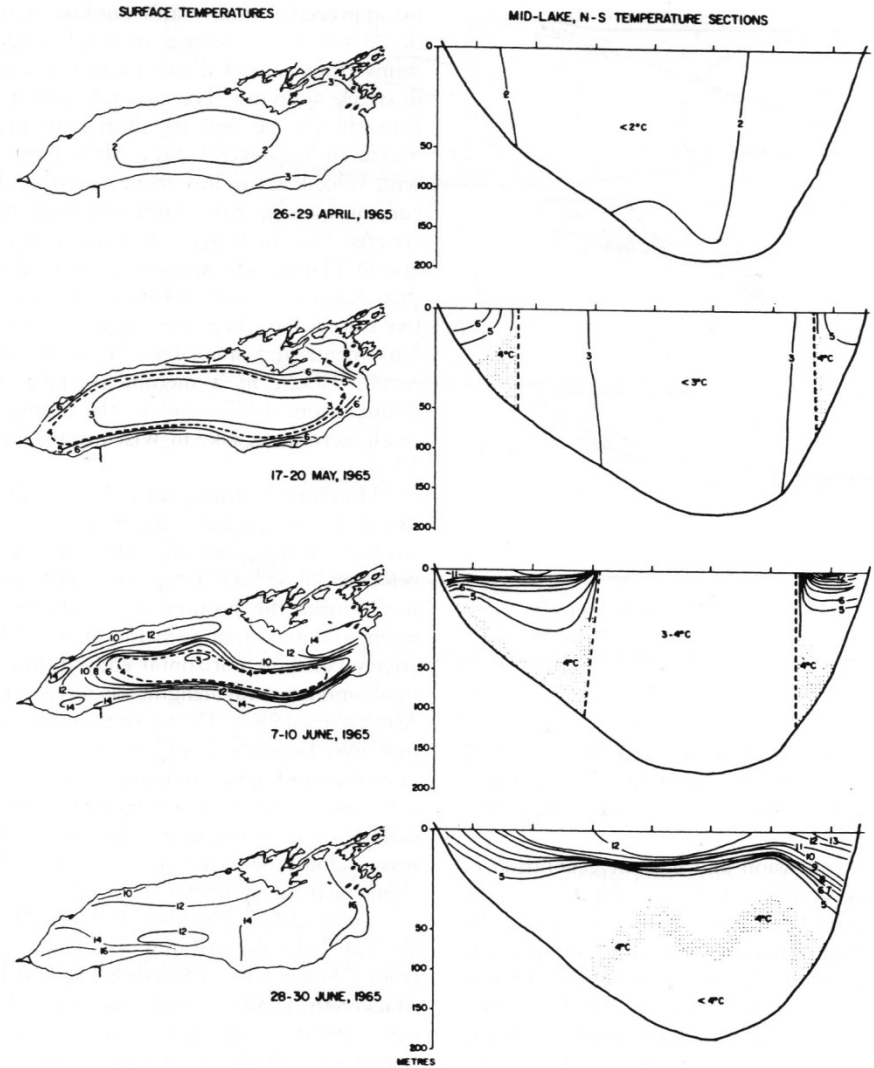


FIGURE 7-24 Formation and progress of a thermal bar in Lake Ontario from winter to full summer stratification. (From Rodgers, G. K.: *Publications Gt. Lakes Res. Div. Univ. Mich.* 15:372, 1966.)

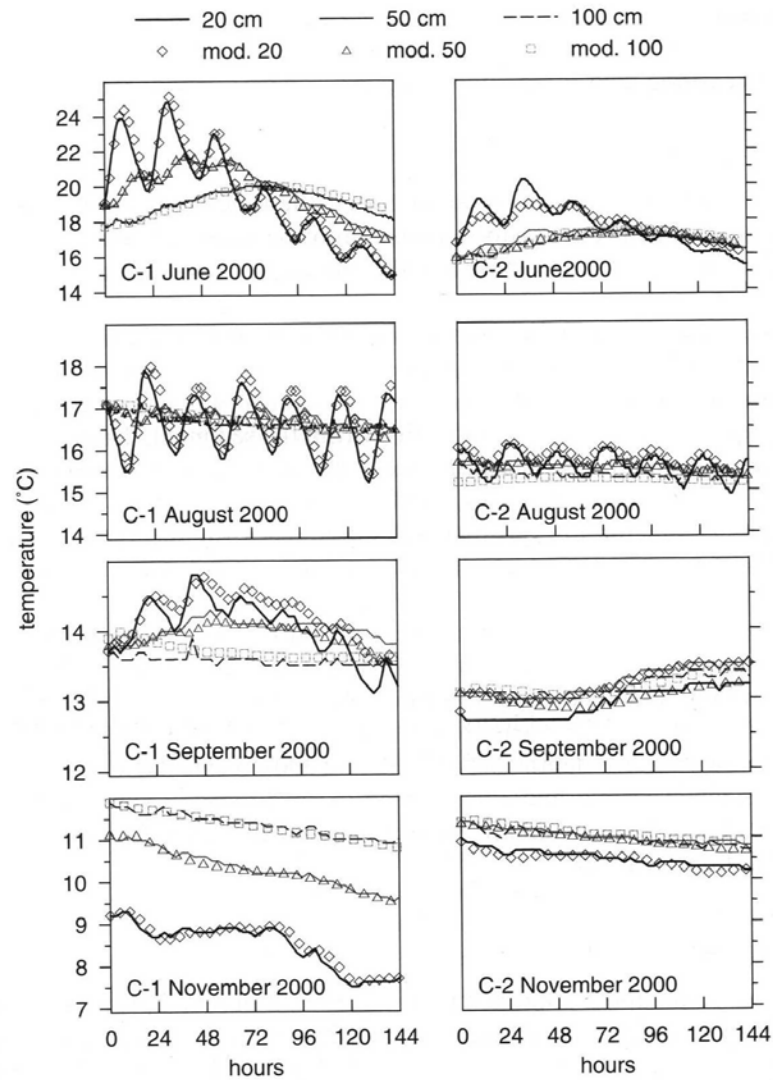
- řídicí faktory
- klasifikace podle teplotního režimu
- dynamika v rámci různých časových škál
- teplota a procesy (abiotické a biotické)
- vliv nadmořské výšky a zeměpisné šířky
- tekoucí vs. stojaté vody
- **povrchové vs. podzemní vody**
- vlivy na vodní organismy
- antropogenní zásahy do teplotního režimu

- podzemní vody mají většinou **účinek stabilizující** teplotu v tocích
- v některých případech však způsobují velkou prostorovou heterogenitu (**geotermální vody** v Yellowstone) – zvýšení teploty v toku o 12°C (změny ve společenstvech bakterií, řas, bezobratlých a ryb; produkce)
- vzhledem k nahodilé lokalizaci přítoků podzemní vody do koryta dochází ke zvýšení prostorové **heterogenity** fluviálního prostředí

## **vliv teploty na hydrologické poměry**

- pokles hladiny uprostřed odpoledne souvisí s **evapotranspirací**
- denní kolísání teploty vody způsobuje změny **hydraulické konektivity** v korytě – výsledkem je kolísání průtoku během dne (rozsah a směr výměny vody mezi podpovrchovými a povrchovými vodami)



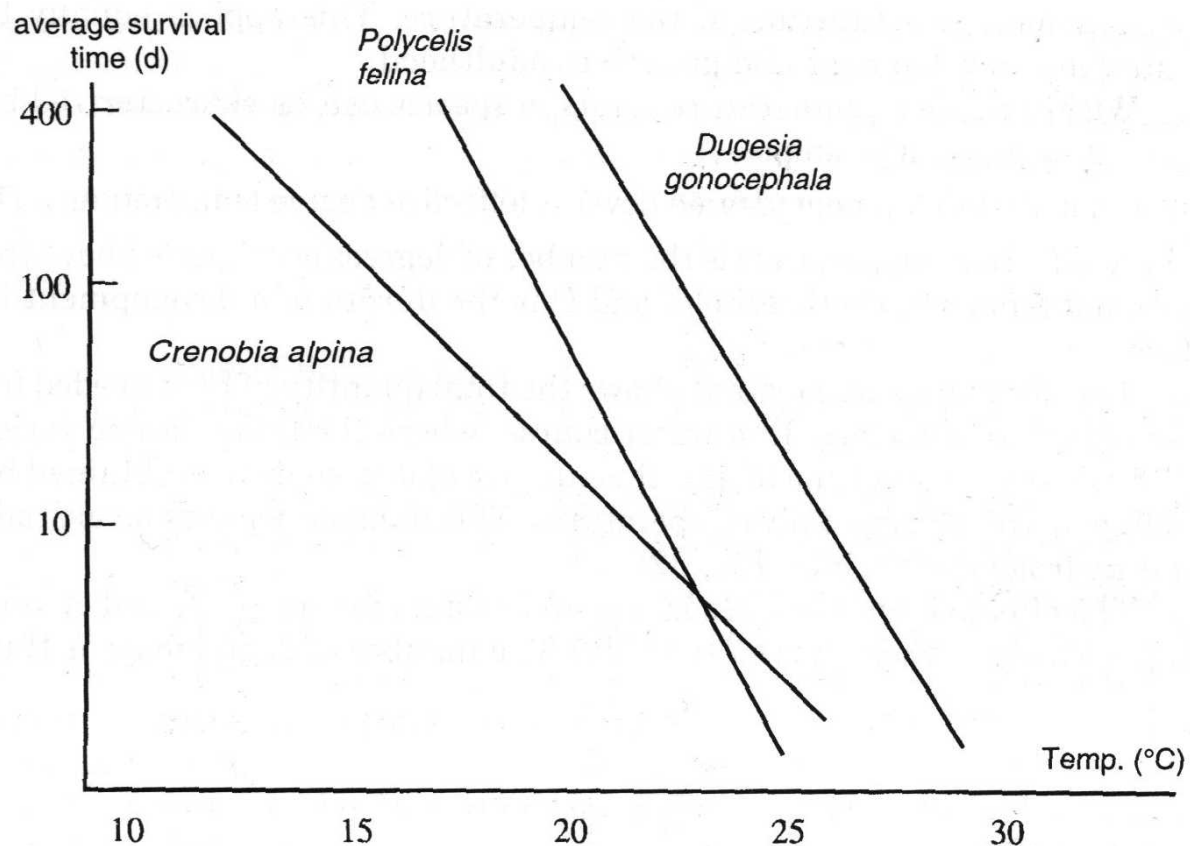


5.5. Measured and simulated temperatures at depths of 20, 50, and 100 cm within the river bed for all periods.

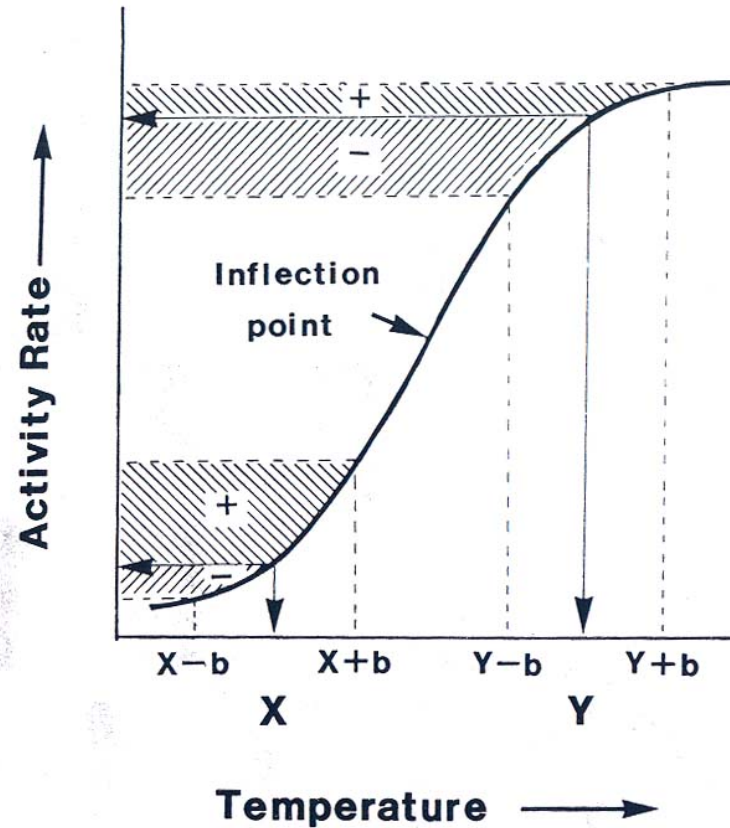
- řídicí faktory
- klasifikace podle teplotního režimu
- dynamika v rámci různých časových škál
- teplota a procesy (abiotické a biotické)
- vliv nadmořské výšky a zeměpisné šířky
- tekoucí vs. stojaté vody
- povrchové vs. podzemní vody
- **vlivy na vodní organismy**
- antropogenní zásahy do teplotního režimu

- studenokrevní (poikilotermní) / teplokrevní
- eurytermní / stenotermní
- limity pro buněčné procesy, metabolismus, vývojové cykly, aktivita/klidová stádia, distribuce

- denaturace bílkovin (enzymů) nad 40°C
- termální prameny a chladné oblasti



**Fig. 31.** Average survival time of three species of Turbellaria as a function of temperature (E. Pattee, 1958)



**Figure 4.1** Hypothetical example showing the sigmoid relationship between activity rate and temperature that is often observed for insects. The relative increase or decrease in activity rate associated with two fluctuating thermal regimes having different mean temperatures (i.e.  $X$  and  $Y$ ), but the same magnitude of fluctuation (i.e.  $\pm b$ ), is demonstrated. Note that when temperature fluctuations are approximately symmetrical around the mean, then fluctuating regime  $X \pm b$  has a net stimulatory effect on activity relative to a constant regime of  $X$ , whereas fluctuating regime  $Y \pm b$  has a net retardative effect relative to a constant regime  $Y$  (modified from Pradhan 1945).

**A:** strmý lineární vztah mezi metabolismem a teplotou

**B:** křivka exponenciálního typu (regulation zone, inflexion point, adjustment zone)

**C:** křivka s regulační zónou (plateau) uprostřed mezi dvěma zónami strmého vztahu (adjustment)

**D:** křivka s nízkou variabilitou metabolismu mezi mezními teplotami; plateau ve vyšších teplotách

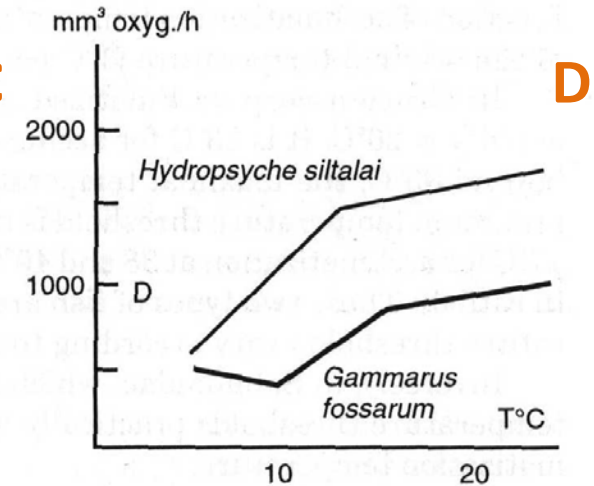
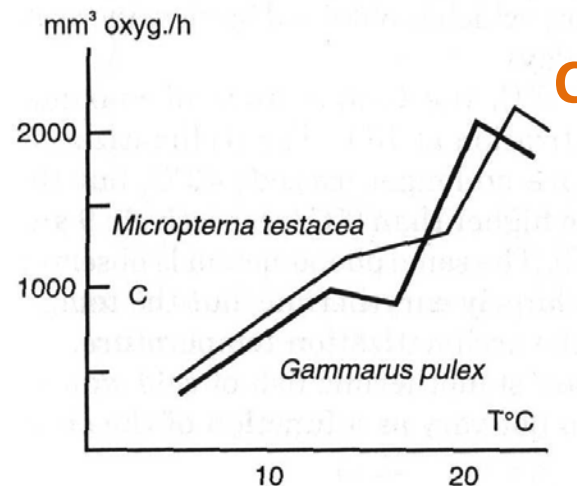
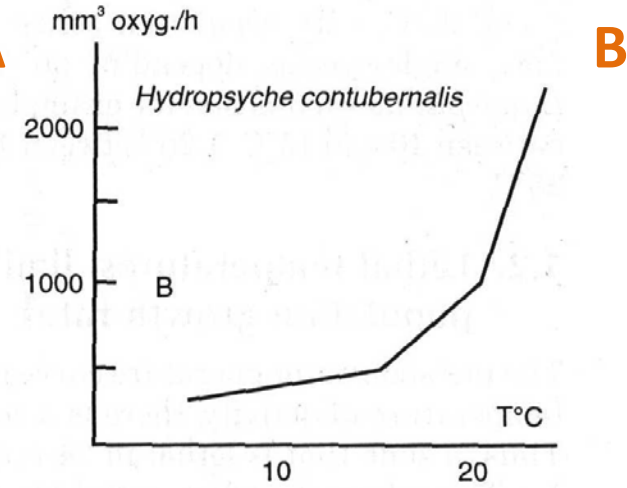
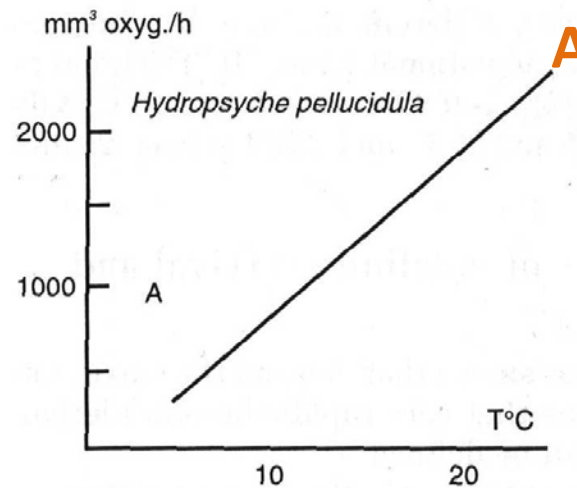


Fig. 30. Oxygen consumption as a function of temperature in certain Amphipoda and Trichoptera (C. Roux, 1989)



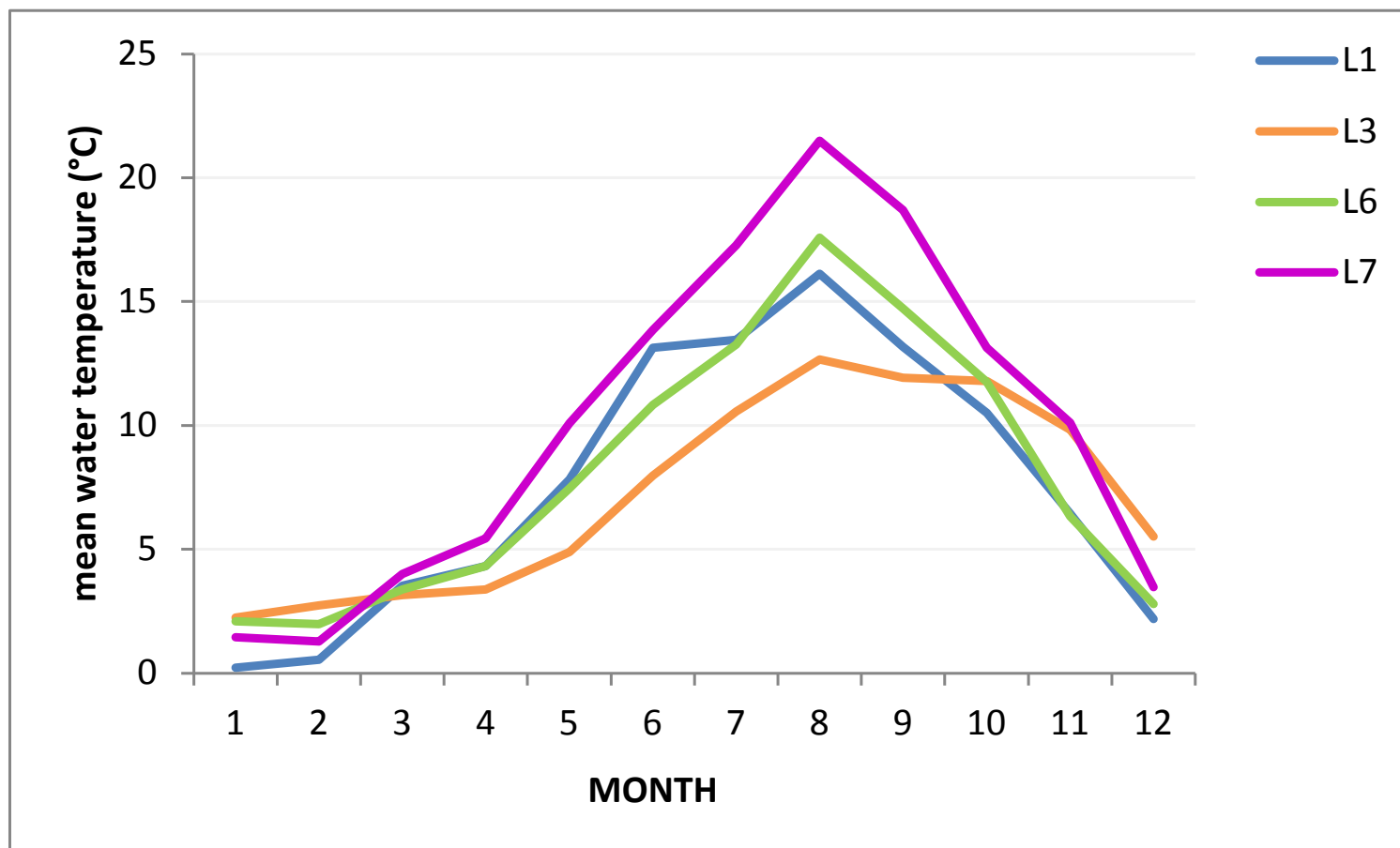
- **A, B, C** – druhy středních a dolních částí toků, tolerující široké rozmezí teplot (eurytermní) nebo vyvíjející se pouze při vyšších teplotách (stenotermní teplomilné); více generací během roku (polyvoltinní)
- **D** – stenotermní chladnomilné druhy s jednou generací v roce, případně s životním cyklem delším než jeden rok (semivoltinní)
- určení teplotního rozsahu tzv. plateau může posloužit k vysvětlení postupného nahrazování navzájem příbuznými druhy během roku
- plateau *Hydropsyche fulvipes* > *Diplectrona felix*
- když letní teploty přesáhnou 15°C *H. fulvipes* nahradí *D. felix*
- křivky ukazují omezení využití tzv.  $Q_{10}$  (multiplikativní účinek zvýšení teploty o 10°C)
- $Q_{10}$  nepostihuje regulační zónu a plateau



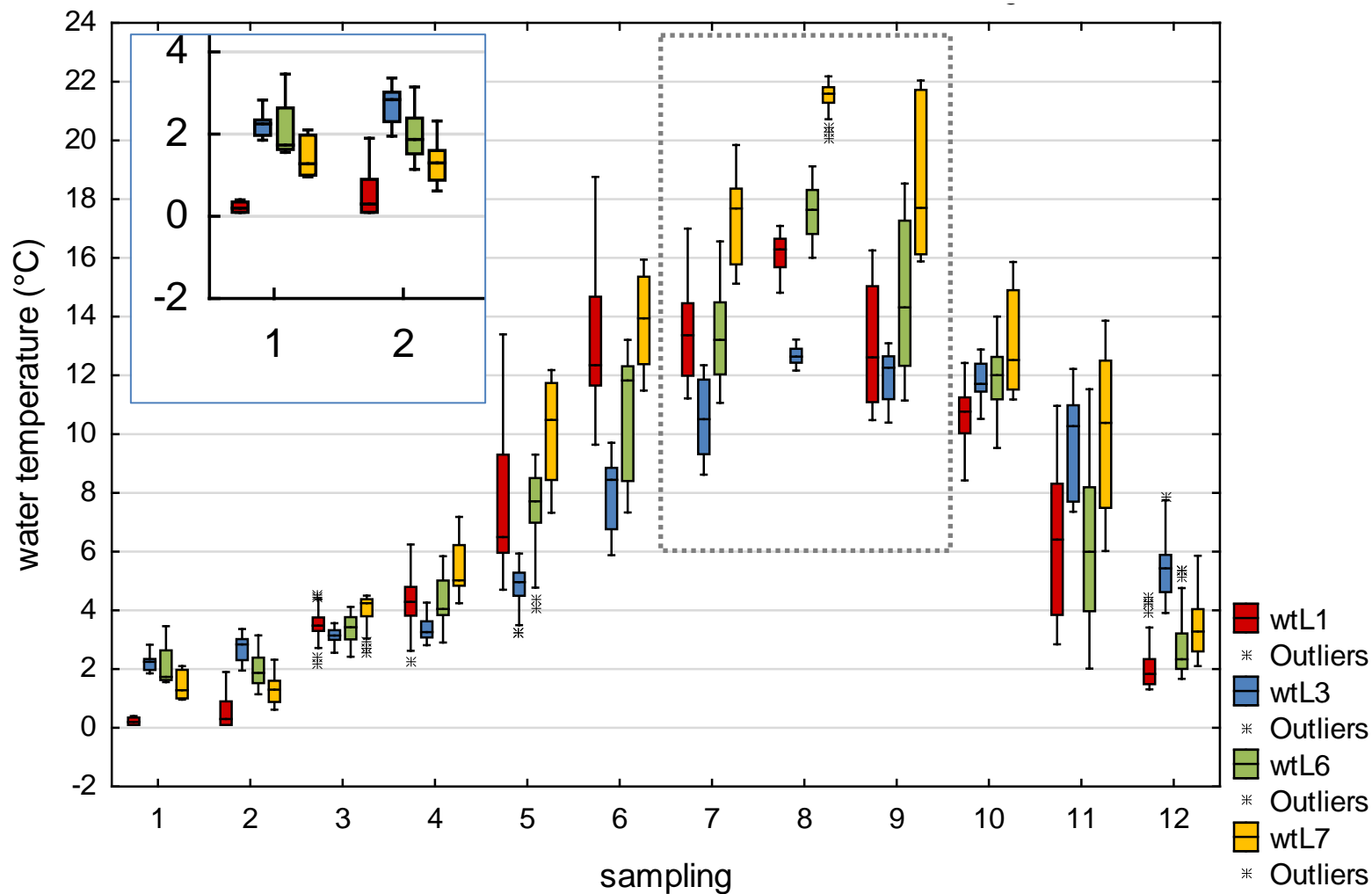
- nádrže – manipulace s kótou odběru/vypouštění; špičkování
- vypouštění odpadních vod
- vypouštění chladících vod
- odběry vody – menší průtok – větší vliv teploty vzduchu
- management pobřežní vegetace



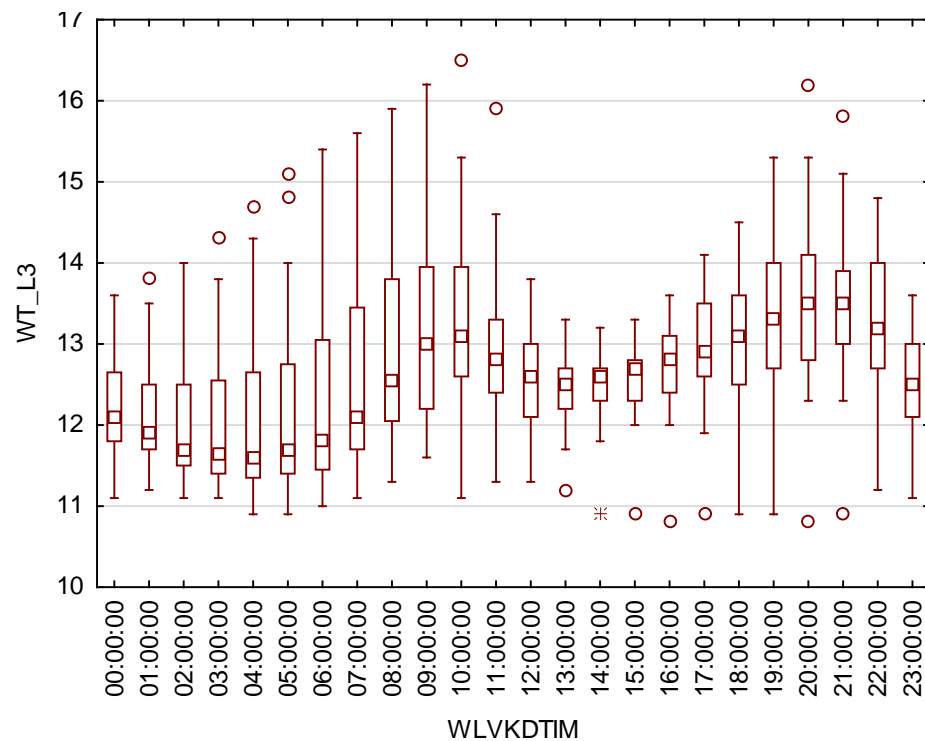
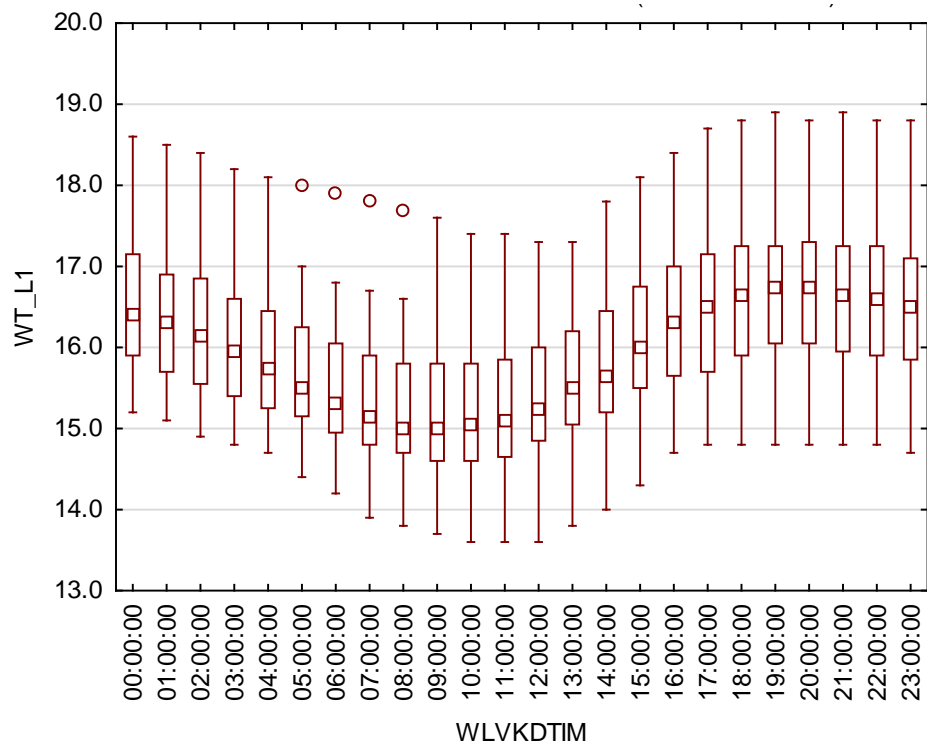
změny teplotního režimu toku regulovaného dvěma přehradami



změny teplotního režimu toku regulovaného dvěma přehradami

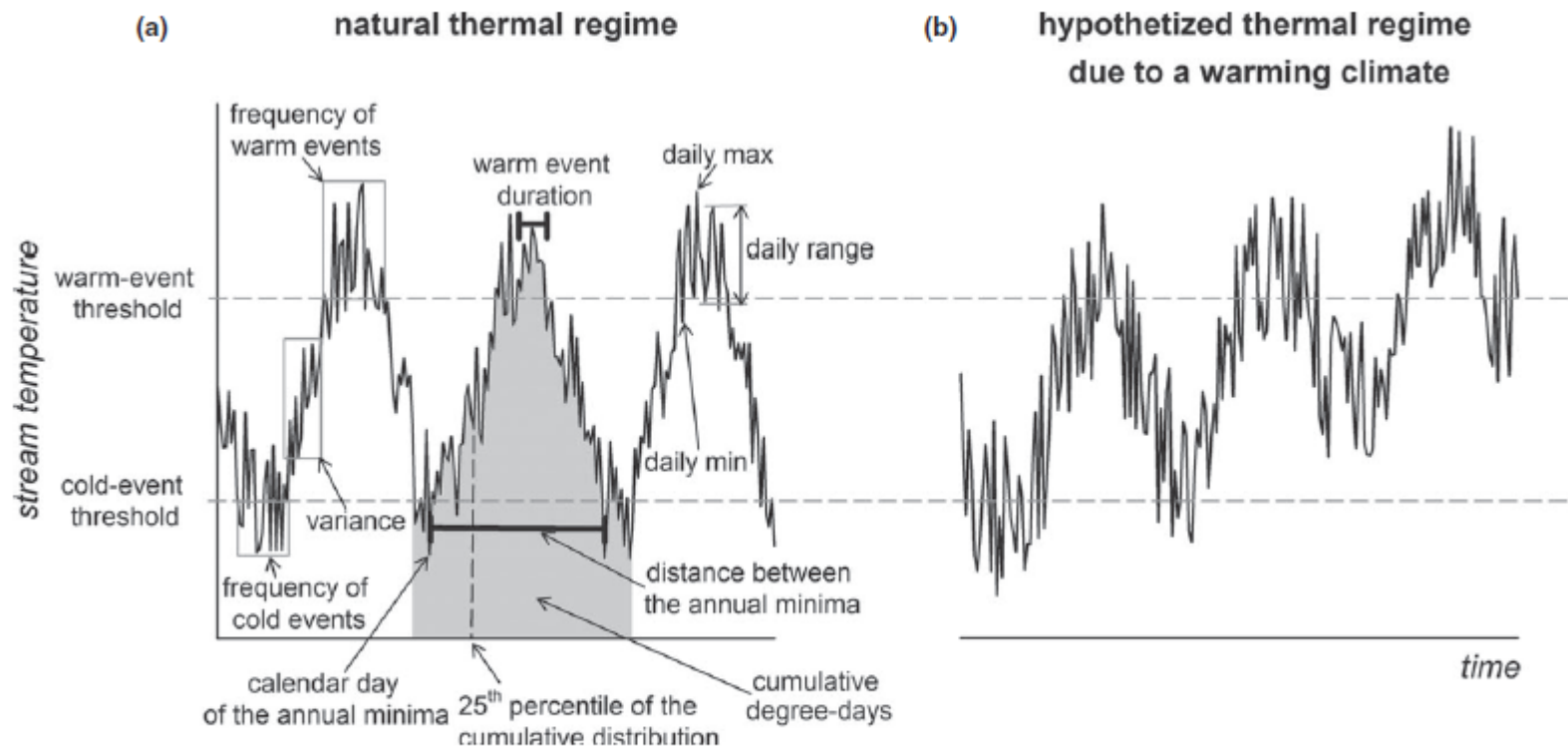


vliv hydro-energetického špičkování na denní běh teplot



Descriptors of natural thermal regimes in streams and their responsiveness to change in the Pacific Northwest of North America

IVAN ARISMENDI\*, SHERRI L. JOHNSON<sup>1</sup>, JASON B. DUNHAM<sup>2</sup> AND ROY HAGGERTY\*



**Fig. 1** Conceptual model and hypotheses. (a) Diagram of a typical thermograph showing examples of descriptors used here and (b) hypothesised changes in the thermograph due to the recent warming climate.