

Teplota vody

v ekosystémech tekoucích vod

Petr Pařil

O čem to bude?

- Teorie průběhu teplot v tocích
- Vliv teploty na fyz-chem parametry
- Vliv teploty na vodní organizmy
- Úskalí terénního měření
- Jak hodnotit data
- Teplota jako proxy veličina
- Predikce růstu teplot do r. 2050 – model Prudence



Tepelné zisky a ztráty

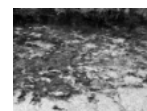
Faktory:

- zastínění vegetací
- morfologie koryta (šířka a hloubka)
- struktura dna (skalnaté dno pohltí až 20% záření)
- teplota vzduchu
- orientace toku vůči slunci
- průtok vody korytem
- nadmořská výška
- zeměpisná poloha
- klimatické podmínky (rychlost větru, vlhkost, teplota půdy, globální klimatické změny aj.)

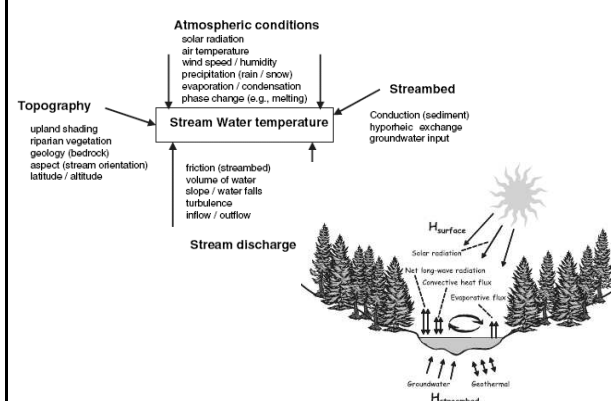


Tepelné toky:

- přímá výměna tepla s okolím
- příjem energie ze záření (slunce)
- srážky - vliv považován za zanedbatelný ALE ...
- vývěry spodní vody - vliv v pramenných oblastech
- dno jako akumulátor tlumící oscilace (v létě akumuluje, v zimě vydává)
- řasové nárosty jako izolant
- denní oscilace teploty – dle výměny tepla se vzduchem a s sedimenty dna (kondukcí a konvekcí)



Faktory ovlivňující teplotu vody



Co teplota ovlivňuje?

- **fyzikálně chemické procesy:**
 - rozpustnost plynů – O_2
 - hustotu, objem, skupenství, viskozitu (negativní korelace s T_{vody}) = díky menšímu tření rychlá infiltrace do sedimentů = vysychání
- **biologických procesy**
 - koloběh živin
 - rozkladné bakteriální procesy
 - životních cyklů, aktivit a přežití (kviescence, diapaúza)
- **základní ekologický filtr** rozhodující o druhové skladbě (vysoké x nízké teploty, oscilace)

Vliv vegetace na T_{vody}

- **účinnost zastínění** - dle výšky, hustoty, složení porostu a především šířky koryta (vliv do vegetace 20m šířky koryta)
- **odstíňuje infračervené** sluneční spektrum
- v noci **omezuje vyzařování** tepla, z menší denní oscilace
- ztráta tepla **výparem** (u zastíněných toků < 3m zanedbatelná)
- **odstranění břehových porostů**
 - nárůst průměrná teploty v létě na menších tocích o 5-8 °C a amplituda teplot vzroste až 3x na 10 °C.
 - maximální teploty v létě o 8-12 °C vyšší než u zastíněných
 - návrat přirozeného režimu dle rychlosti obnovy vegetace (5-15 let dle regionu)

Odhad teploty vody

- časové zpoždění teploty vody za teplotou vzduchu - narůstá s velikostí povodí
- přesnost odhadu roste při použití průměrných hodnot za delší období

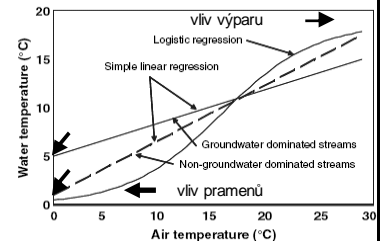
REGRESE (vliv teplotě vzduchu)

- **lineární** - týdenní a měsíční data, vysvětlení až 96% variability, průsečík s osou y a sklon

- **mnohonásobná** - průtok, teploty vzduchu předchozích dnů, hloubka vody, záření

- **logistická** - ohyb křivky do tvaru S při vysoké a nízké teplotě (výpar, prameny)

- týdenní data



Modelování teploty vody

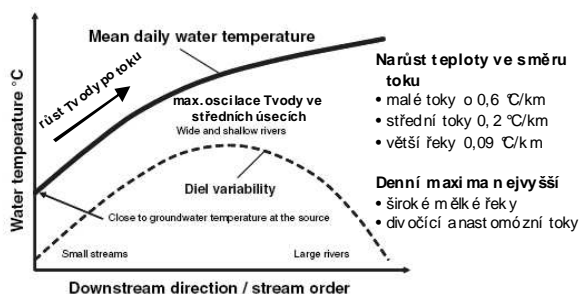
vhodné pro denní teploty

- **stochastické** - jednodušší
 - vstup - T_{vzduchu} , delší časové řady ročního cyklu teploty a odchylky od nich,
 - výstup - denní teploty
 - přesnost 2 °C
 - pro větší regiony
- **deterministické** - komplexnější - studuje energetické toky
 - vstup - kompletní meteorologická data (záření, vítr, ohřev dnem toku atd.)
 - výstup - denní a hodinové teploty
 - přesnost 1-2 °C
 - pro konkrétní toky

Oscilace teploty

- **jaro** - denní **oscilace největší**
 - půda je prochládlá a nasycená vodou ze sněhu, dotace spodní vody - zvětšují minima
 - během dne výrazný ohřev vzduchem a slunečním zářením (stromy bez olistění netlumí oscilace) - zvětšení maxim
- **podzim** - menší oscilace
 - menší vliv podzemních přítoků (sucho)
 - teplo akumulované dnem v letních měsících se postupně uvolňuje (tlumí minima)
 - vzduch se ochlazuje vodu (tlumí maxima)
 - vegetace tlumí oscilace
 - častý výskyt mlh (tepelný izolant bránící vyzařování tepla radiací)

Změny teploty vody v říčním kontinuu



Antropogenní vlivy

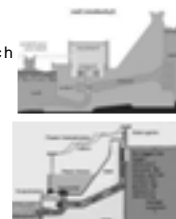
- odstraňování pobřežní vegetace
- oteplené odpadní vody
- snížení průtoku (závlahy, malé vodní elektrárny)
- nevhodné zásahy do krajiny a intenzita využití
- vodní nádrže (velikost, stratifikace, umístění výpustí)

spodní nátok (hydrolektrárny)

- chlazená voda hypolimnia (pokles teploty i denních oscilací)
- montáže, zvrátí rybích pásem

horní nátok - oteplení toků až o 5 °C,

- omezení výskytu hospodářsky důležitých chladnomilných druhů
- celková produktivita toků roste



Vliv teploty na poikilotermní org.

- intenzita metabolismu
 - aktivita jedince
 - intenzita růstu
 - délka vývoje
 - plodnost atd.
- termoregulace (omezená na určitou dobu)
 - **behaviorální** - ze substrátu nebo slunečního záření, ochlazení ve stínu či chladnějších místech
 - **fyzilogická** - endotermní tvorba metabolického tepla (létání)
- druhy eurythermní x stenothermní
 - **vitální zóna** - omezená tepelnou a chladovou kritickou zónou.
 - **optimální teplota** - optimum pro metabolické procesy
 - **fyzilogický čas** - vztah mezi teplotou a dobou vývoje druhu



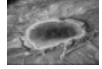
Adaptace na teplotní extrémny

Zmrznutí

- tolerance - rychlé zmrznutí mezibuněčných tekutin bez poškození struktury
- vyhnutí se - kryoprotektanty v hemolymfě (glycerol)

Přehřátí

- Chironomidae (pramenech 49 - 51 °C)
- krátkodobá aklimatizace k vysokým teplotám (heat shock proteiny)



Klidová stádia:

- **Kryptobioza** - organismus nevykazuje metabolickou aktivitu
- larvy pakomára *Polypedilum* - 1 min při 102 °C, několik dní -190 °C (tekutý dusík)
- **Hibernace** - (diapauza a kviescence)
- dlouhodobé druhy - aktivní v létě, klid v zimě
- krátkodobé druhy - aktivní na podzim a na jaře, lét a zima klidu
- denními cykly - cirkadiální rytmy

Působení na poikilotermní org.

- rozhoduje:
 - výše teploty
 - doba působení
 - rychlost změny (adaptační čas)
- výrazné střídání teplot (vysoká denní amplituda) = větší dopad
- s teplotou klesá kyslík - roste stres, mortalita
- nejcitlivější ranná vývojová stádia (ryby a obojživelníci zpomalení až zastavení vývoje)
- únik do teplotních refugií
 - vyšší nadmořskou výšku a zeměpisná šířka,
 - vývěry podzemní vody a přítoky,
 - dnohlubokých tůň > 5m

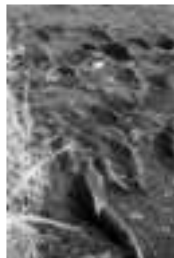
Co se nejvíce studuje?

- **vliv břehové vegetace** a makrofyt (lesy USA, Kanada)
- **Globální změna** - dlouhodobé trendy v růstu teplot (krasové toky Anglie, velké řeky střední Evropy, vliv NAO, vysychání)
- **mikrotermální gradienty** v příčném profilu toku (rozdíl až 7°C)
- **vliv na vývojové cykly a přežití bezobratlých** (teplotní tolerance, aklimatizační teploty a časy)

Studie - zvýšení teploty

Ryby

- lososovitě - studie USA, Kanada - existují teplotní vhodné standardy - krátkodobá tolerance vyšších teplot ALE dlouhodobé přežití a rozmnožování není možné
- noční přesuny ryb přes teplotní refugia do různých částí toku
- nárůst T vody - uspišení tahu lososovitých (až o 6 týdnů)



Studie - zvýšení teploty

Bezobratlí

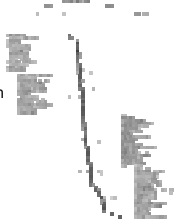
- zrychlení vývoje larv bezobratlých - dospívají při menší velikosti těla (akcelerace vývoje larv komárů)
- emergence dospělců dříve
- snížení denzity v pramenných úsecích
- změny v poměru pohlaví u vodního hmyzu (např. u chrostíků *Lepidoma*).
- změny v genetické struktuře populace
- celkové změny ve skladbě společenstev (vyměnění druhů a funkční skupiny zůstano)
- senzitivní EP, tolerantní brouci, měkkýši
- vliv teploty na rychlost a plasticitu vývojových cyklů - sума efektivních teplot (suma teplot ve dnech s překročením Tvody vhodně pro vývoj)
 - pomalý vývoj, větší počet instarů v habitatech s nižší teplotou x akcelerace v teplejších habitatech (např. *Sericostoma* - 7- 8 instarů, vývoj 1 -5 let Stř x severní Evropa

Efekt NAO

(Severoatlantická oscilace - North atlantic oscillation)

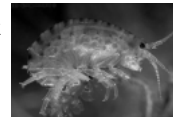
DURANCE & ORMEROD 2007, 2009 - 25letá studie
Wales a J Anglie

- teplejší a vlhčí fáze spojená s NAO vede meziročním, výkyvným = menší stabilita společenstva
- celkově došlo během NAO o oteplení vody téměř o 2 °C (v budoucnu se počítá s nárůstem až o 3 °C)
- s nárůstem teploty o 1 °C - ubylo až 20% druhů specializovaných na prameny, 5-10% vzácných pramenných druhů bylo ohroženo lokálními vyhubením
- v případě že byl tok ovlivněn acidifikací byl její vliv silnější než změna teploty v důsledku NAO
- nárůst teploty až o 3 °C v zimě a až o 1,5 °C v létě
- výrazná změna zejména v krasových tocích napájených prameny
- vliv ubývajícího znečištění byl však výraznější než vliv teploty (přibývalo citlivějších druhů a narostla diverzita).



Hogg & Williams 1996, Hogg et al. 1996

- nárůst teplot v toku o 2-3 °C
 - pokles denzity pakomárů a dřívější výlet
 - dřívější kopulace blešivců *Hyalella*
 - zmenšení adultní velikosti pošvatek *Nemoura* a blešivců,
 - změna poměrů pohlaví chrostíka r. *Lepidostoma*
 - zmenšení toku genů mezi v důsledku růstu T_{vody} zvyšuje dopad tohoto stresoru (při působení změny klimatu)



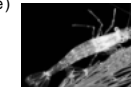
Lessard & Hayes 2003

- vliv horní výpustně nádrže na níže ležící úsek toku během léta
- srovnávali stav rybi obsádky a bez obratých nad a pod nádrží která měnila teplotu vody o -1 až + 5 °C
- vzrůst teploty vedl k poklesu denzity pstruha, sivena a vranky přestože celková bohatost společenstva rostla
- změna společenstva bezobratlých se výrazně zvětšoval s růstem teploty



Quinn et al. 1994

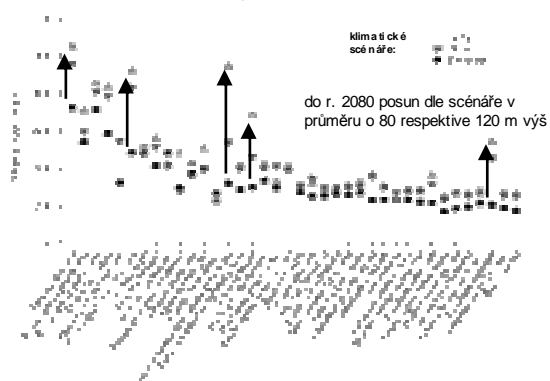
- testování horních letálních teplot 12 novozélandských sladkovod. bezobratlých po aklimatizační teplotě 15 °C
- letální teploty po 2 denní (24.5 až > 34 °C) a 4 denní (22.6 až 32.6 °C) expozici
- tyto teploty pak mohou během léta omezit rozsah výskytu i abundance některých druhů
- nejcitlivějšími skupinami byly pošvatky a jepice z čeledi Leptophlebiidae – jepice snesly při vyšší aklimatizační teplotě 20 °C i vyšší letální teploty
- nejvíce tolerantní náúst teplot brook z čel Elmidae (*Hydora* sp.)
- dosti tolerantní *Potamopyrgus antipodarum* – invazní v Evropě
- střední tolerance - krevetky *Paratya curvirostris* (Atyidae) a *Paracalliope fluviatilis* (Eusiriidae)



Haidekker & Hering (2008)

- EPT + C taxony ve vztahu k teplotním preferencím na malých středních tocích Německa
- 30% variability v datech EPT taxonů vysvětlovala variabilita letních teplot (zatímco substrát, vodivost a land-use)
- v malých tocích měla teplota vyšší vliv než ve středních, jelikož ve větších tocích převažují eurythermní taxony
- 33 EPT + C taxonů korelovalo s letními T_{vody} pozitivně z atímco 28 negativně
- vztah k T_{vody} vyplývá z vlastností druhů (*species traits*) jako je životní cyklus, dormance vajíček atd.

Domisch et al. 2011 Potenciální posuny preferencí nadm. výšek se změnou klimatu



Aplikace měření T_{vody} v terénu

- představa o vývoji teploty během sezóny
- rozklíčování událostí které proběhly na lokalitě (bouřky, roztání ledu, zárůst makrofyty)
- suma efektů vních teplot, časování výletu imág, letální maxima – teplota jako filtr)
- ovlivnění teplotního režimu lokality – např. výše ležícími úseky, nádržemi, prameny, slunečním světlem
- ovlivnění vývojových cyklů, abundance a produkce bezobratlých

Teploměřácké nádobíčko



Výhody teplotních dataloggerů

- kontinuální měření hodnot
- relativně nízká pořizovací cena
- jednoduchá obsluha
- lze využít jako proxy proměnnou pro monitoring „událostí“
- odvození jinak neměřitelných veličin

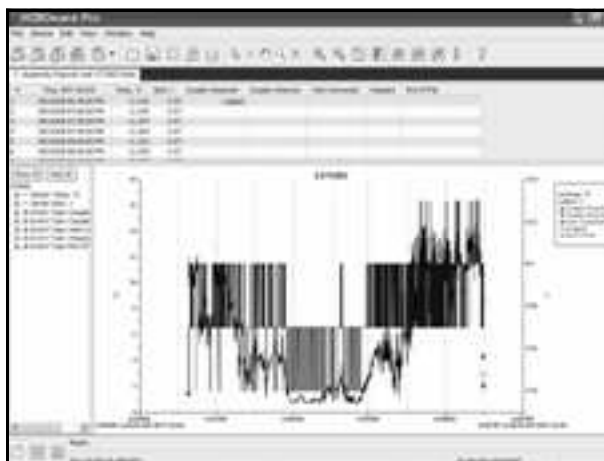
NE-výhody

- občas to někdo ukradne
- velká voda to odnese
- zapadne to do bahna (zkreslené měření)
- zkreslení měření barvou povrchu (akumulace tepla černým tělem loggeru)

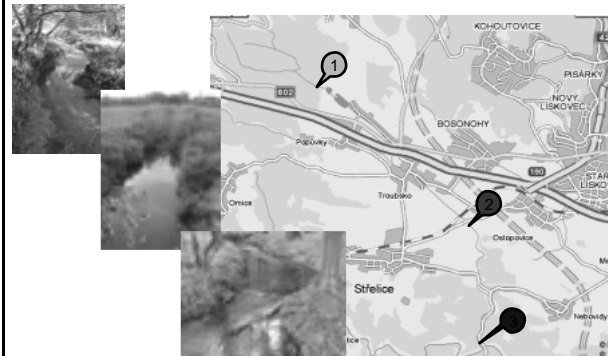


PROBLÉMY S DATY

- přechod zimního a letního času
- nastavení časových os mimo desítkovou soustavu
- složitý odečet některých veličin (denní maxima x minima)
- velká kvanta dat které excel neschroustá
- nutnost dodržování stejných intervalů měření



Případová studie: Morfologicky degradované povodí a Tvodý



Charakter povodí

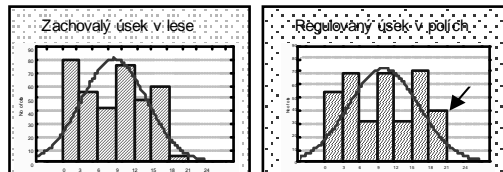
	to kalita	Aušperský p. - nad Pěpůvkami	Troubský p. - pod Troubským	Troubský p. - ústí
Využití povodí:				
Lesy a křovin v (%)	37	46	40	40
Nezemědělská zeleň (%)	22	0	0	0
Zemědělské plochy (%)	1	2,5	4,4	4,4
Zástavba (přím. zóny, silnice) (%)	0	1,6	1,6	1,6
Vodní plochy (%)	0,0	0,5	0,3	0,3
Za stínění toku:				
úsek 1 km nad profilem (%)	83	57	76	76
průměr úsek v celé m.p. úseku (%)	83	57	76	76
Charakteristiky úseku:				
plocha povodí (km ²)	4,1	19,1	30,0	30,0
nadm. výška a výška (m. n. m.)	305	26,5	2,32	2,32
průměrný průtok (m ³ .s ⁻¹)	0,003	0,014	0,018	0,018
průměrná šířka (m)	0,9	1,4	1,7	1,7
průměrná hloubka (m)	0,06	0,11	0,15	0,15
vert. členění (rel. průměrná) (km)	3,0	7,5	11,3	11,3
řád. tok u ústí (Střelice)	2.	3.	3.	3.
Hydroekologický monitoring:				
hodnota HEM (Langhammer 2008)	velmi dobrý	průměrný	velmi dobrý	velmi dobrý
Ekologický stav dle HEM	velmi dobrý	průměrný	velmi dobrý	velmi dobrý

Proč se zabývat Tvodý v malých tocích?

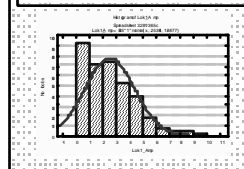
- teplota vody malých vodních toků (do šířky cca 5 m a plochy 100 km²) u nás není systematicky sledována ČHMÚ
- díky malému objemu vody (nízká tepelná kapacita) jsou tyto toky nejnárodnější ke změnám
- morfologicky degradované toky bez vegetačního doprovodu trpí v suchých letních měsících při nízkých průtocích (přehřívání, oscilace)



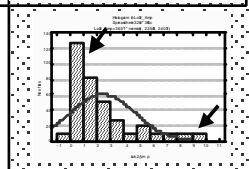
Rozložení teplot během roku



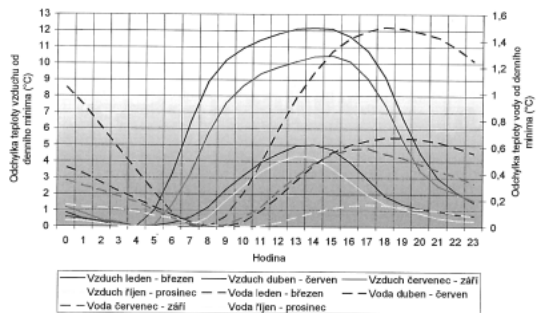
Rozložení velikosti



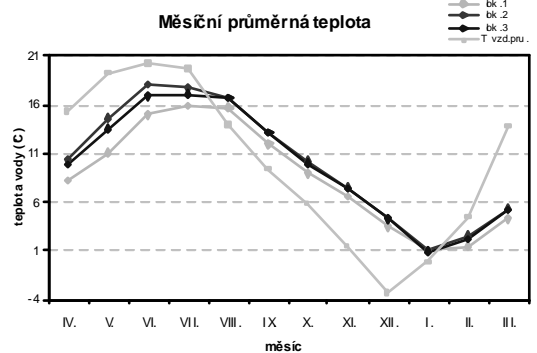
oscilací během roku



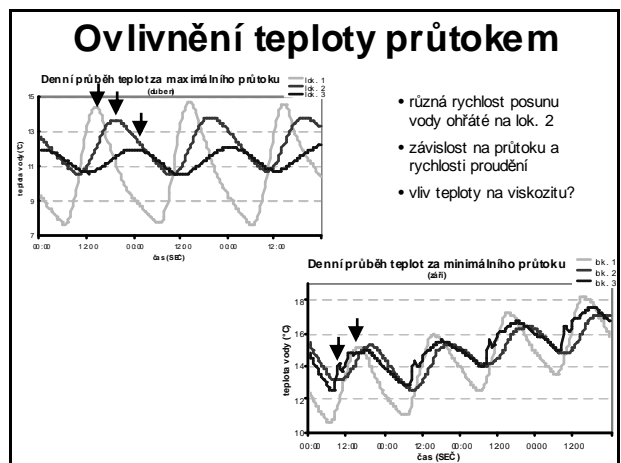
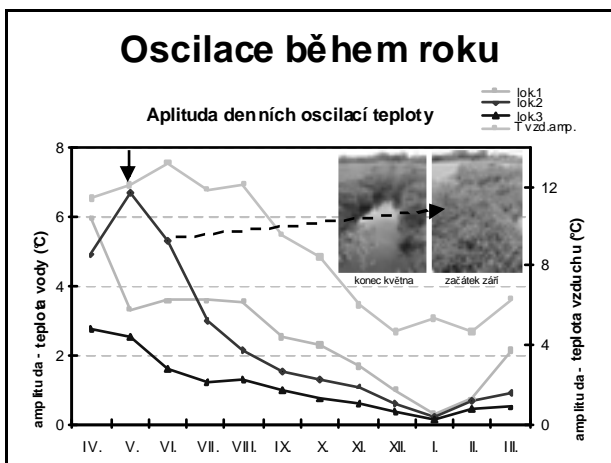
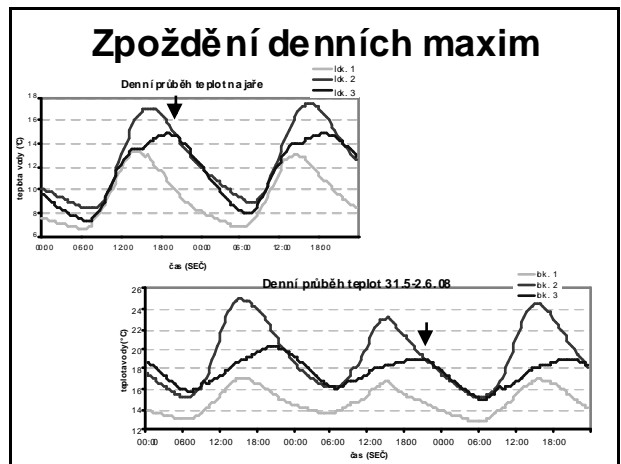
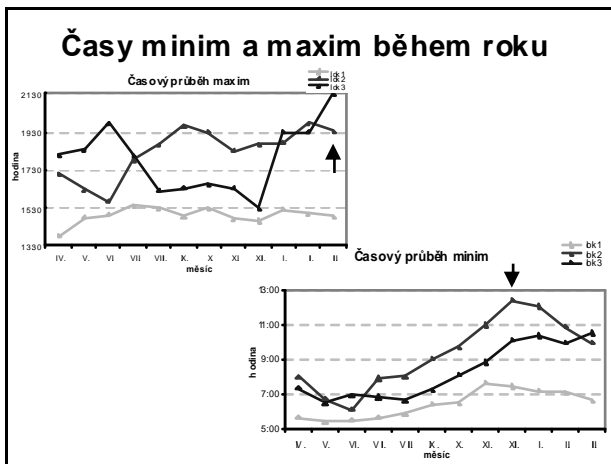
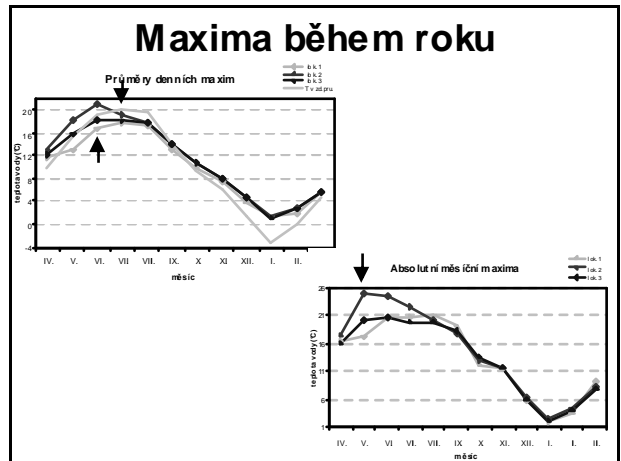
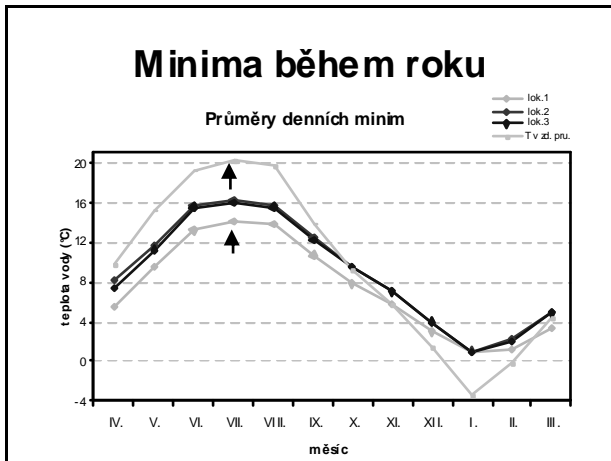
Chod teplot vody během dne - různá roční období



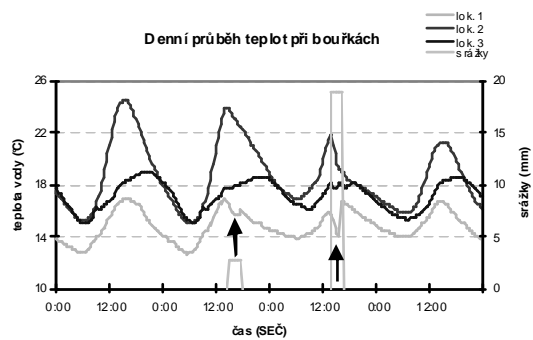
Roční chod teplot



- zpoždění T vody za T vzduchu
- vyšší průměr degradované lokality



Detekce výrazných srážek



Závěry studie

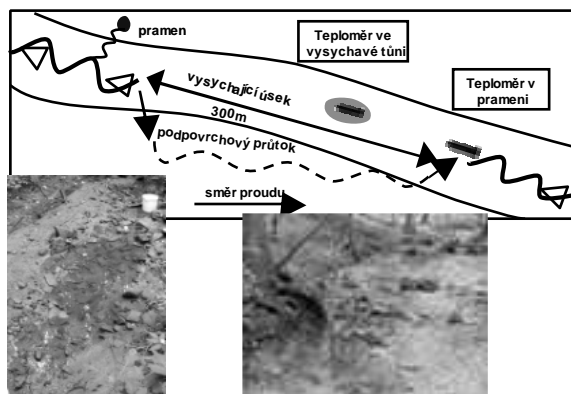
Morfologicky degradovaný úsek

- má teplotní režim značně odlišný od přirozeného (zvláště v suchých letech při nízkých průtocích)
- největší změnou je zvětšením amplitudy denních teplot a maxim počátkem léta
- makrofyta přispěla od poloviny léta ke zmenšení oscilací a celkovému ochlazení
- je zdrojem tepelného znečištění - mění teplotní režim níže ležícího úseku
- několik hodinově zpoždění denních maxim a minim vody v první části sezóny

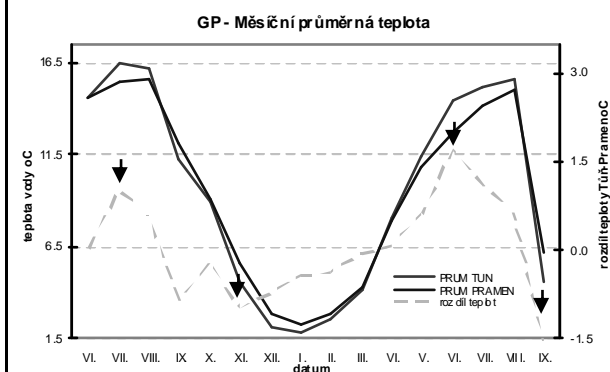
Otázky do budoucna:

- sledování dosahu tepelného znečištění
- přesný průběhu tepelné vlny s použitím více měřících bodů
- kvantifikace chladičho účinku morfologicky zachovalých úseků
- ovlivnění životních cyklů organismů (změna průběhu denní amplitudy a celkové oteplení)

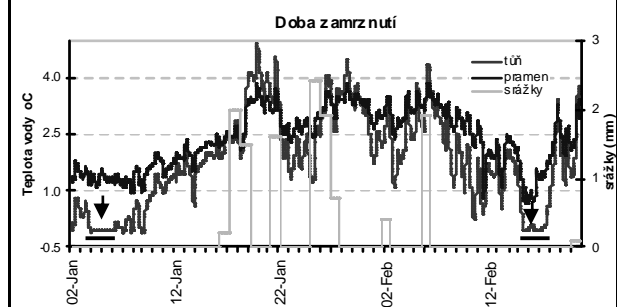
Vysychání Gránického potoka

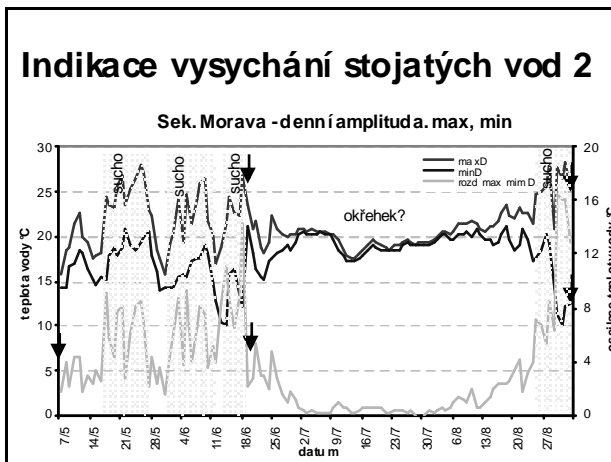
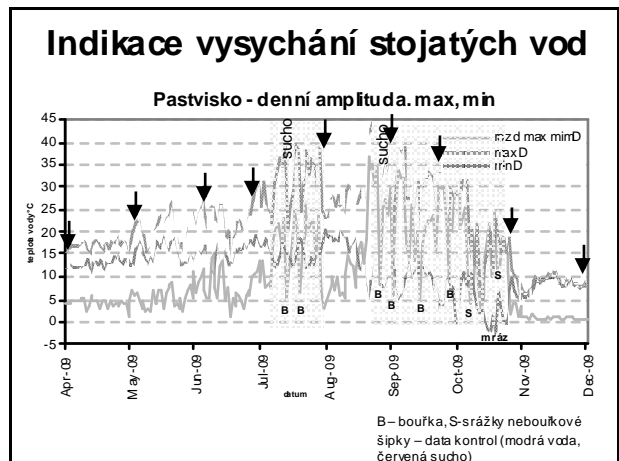
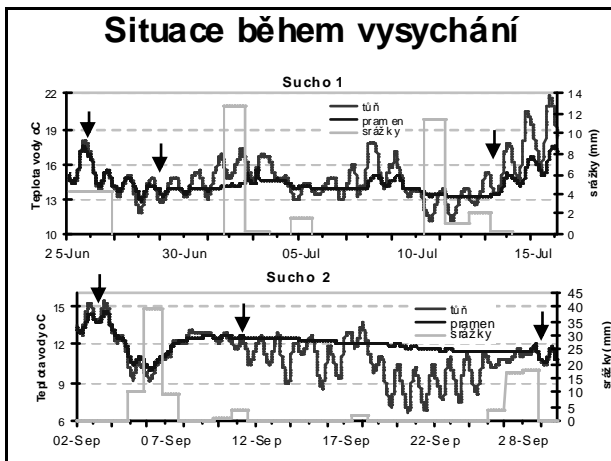


Vliv podzemních vod

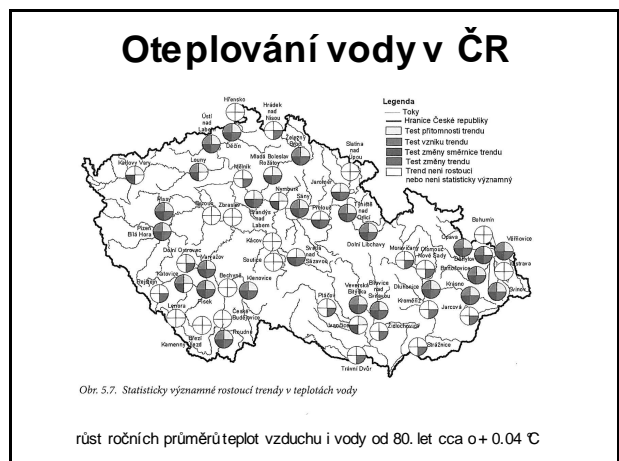
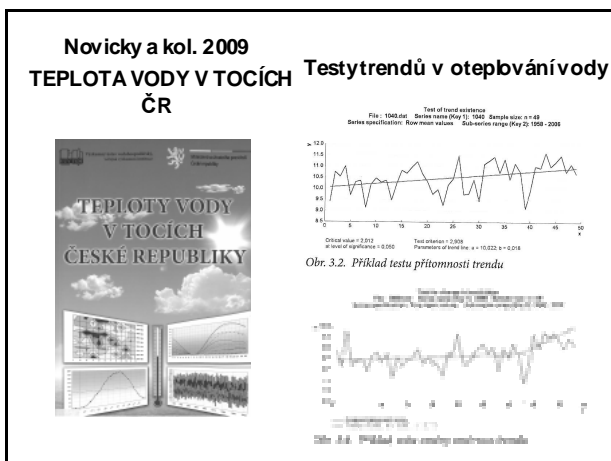


Indikace sezónních vlivů

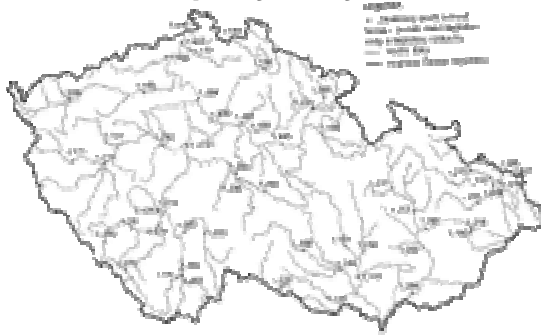




- ### Globální změna
- růst teploty a větší extrémy počasí
 - rozdíly anost průtoků a regionální vzešup teplot
 - roční srážkové úhrny bez změny ALE:
 - pokles frekvence srážek
 - extrémizace klimatických událostí – sucha a přívalem deště
 - změna sezónního rozložení srážek
 - zima + jaro – zvýšení
 - léto + podzim – pokles
 - tudíž se mění teplota vody a rozložení hodnot během roku
 - výrazné důsledky pro vodní společenstva a fyzikálně chemické procesy ve vodách
 - malé vodní toky (povodí do 100 km²) - 80% plochy povodí v ČR – vysychání a extrémně vysoké teploty v morfologicky poškozených úsecích bez břehových porostů



Poměr teploty vody a vzduchu



- poměr roční teploty vzduchu a vody cca 1,1-1,3
- směrem po proudu stoupá - **nárůst teplot v nížinách s globální změnou větší**

Rozložení růstu teplot během roku



největší nárůst v létě a na podzim

Prognóza 2050?



model Prudence

vzduch 1,7-3,6°C

voda
optimista
+ 1,4-1,5°C

pesimista
+ 2,5-2,9°C

maximální nárůst
až o 3,5°C

Obr. 4.2: Prognóza nárůstu teploty v roce 2050 pro různé scénáře klimatických změn v České republice. Zdroj: Ústřední úřad vlády ČR, 2010.



Takhle může vypadat vaše práce 2080 ☺