

Změny srážko-odtokových poměrů v pramenných oblastech v kontextu vlivu člověka a vývoje klimatu

RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.
RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.
Mgr. Ondřej Ledvinka
Mgr. Václav Královec



Univerzita Karlova Praha
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie
kliment@natur.cuni.cz, matouskova@natur.cuni.cz

Osnova

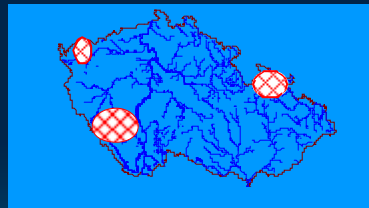
- Cíle výzkumu
- Charakteristika modelových povodí
- Analýza trendů srážko-odtokového režimu
- Vývoj teplotních a sněhových poměrů
- Změny ve využití krajiny
- Upravenost hydrografické sítě a plošné odvodnění
- Založení experimentálního monitoringu srážek a odtoku
- Shrnutí výsledků a závěry

Pozn. Dále uvedené grafy jsou uvedeny jako příklad, nejsou aktualizované!

Cíle

- Sledovat změny ve vývoji srážko-odtokových poměrů a pokusit se objasnit jejich příčiny v modelových povodích v oblasti Šumavy, Jeseníků a Krušných hor

- povodí Vydry
- povodí Blanice
- povodí Ostružné
- povodí horní Opavy
- povodí Opavice
- povodí Rolavy

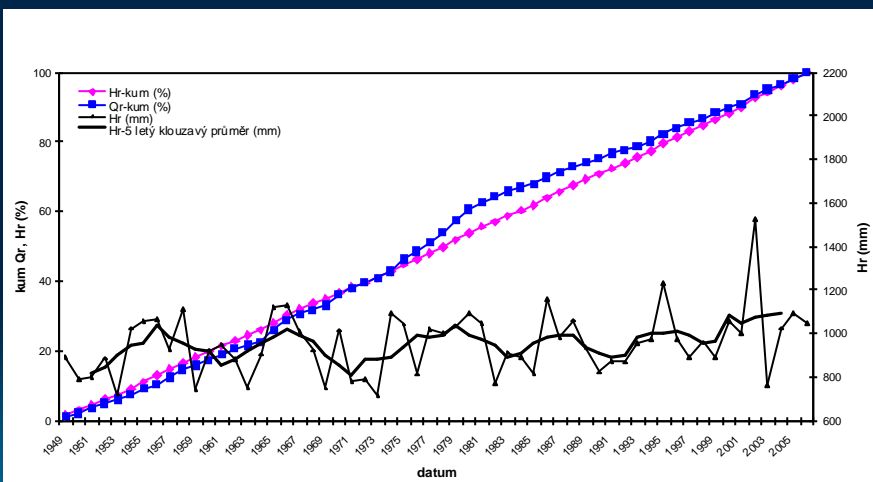


Povodí reprezentují rozmanitá území s rozdílným podílem míry antropogenního ovlivnění

Analýza trendu srážko-odtokového režimu

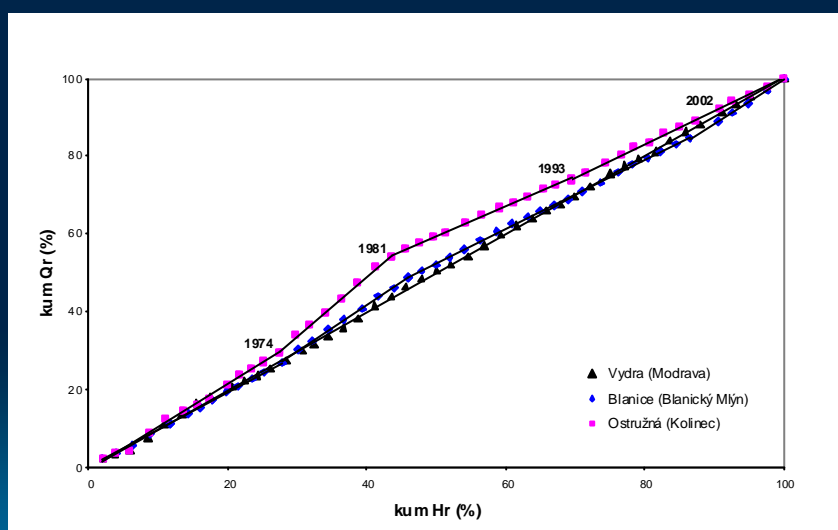
- Jednoduché a podvojně součtové čáry (Q , Q_{min})
- Změny v četnosti výskytu velkých vod (jednoletých a vyšších) a v rozložení odtoku během roku
- Statistické testy homogenity časových řad (absolutní a relativní homogenita)
- Statistická analýza trendu s využitím Mann-Kendallova testu
- Analýza závislostí hydroklimatických prvků – Kendallův koeficient pořadové korelace τ_b

Jednoduché součtové čáry (Ostružná, profil Kolinec, 1949-2006)

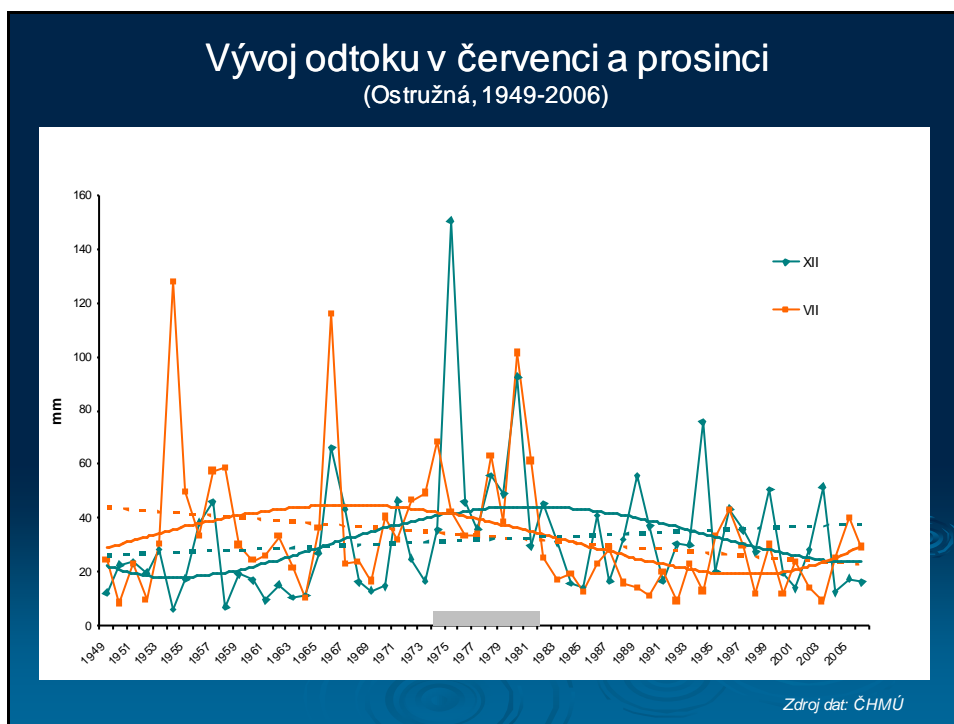
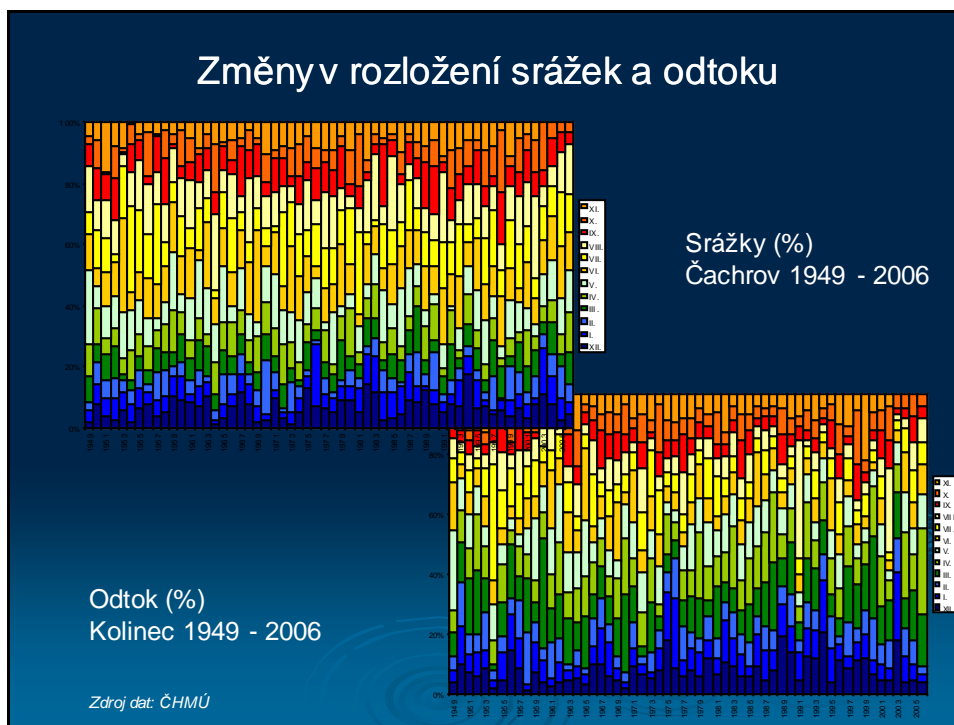


Zdroj dat: ČHMÚ

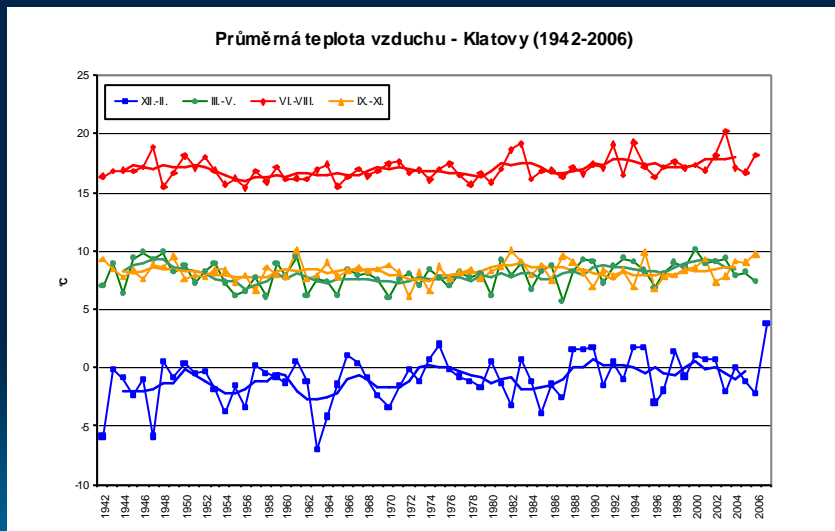
Podvojně součtové čáry (povodí Otavy, 1962-2006)



Zdroj dat: ČHMÚ



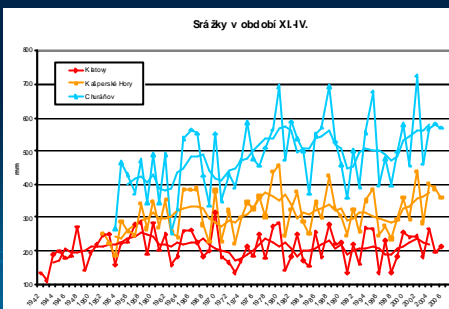
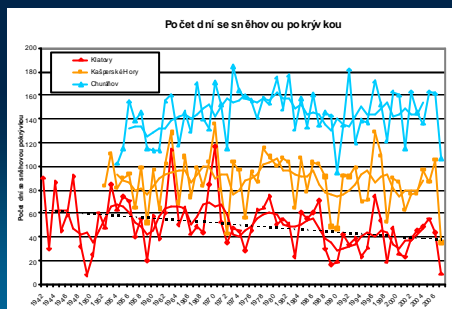
Vývoj průměrné roční teploty vzduchu (Klatovy, 1942-2006)



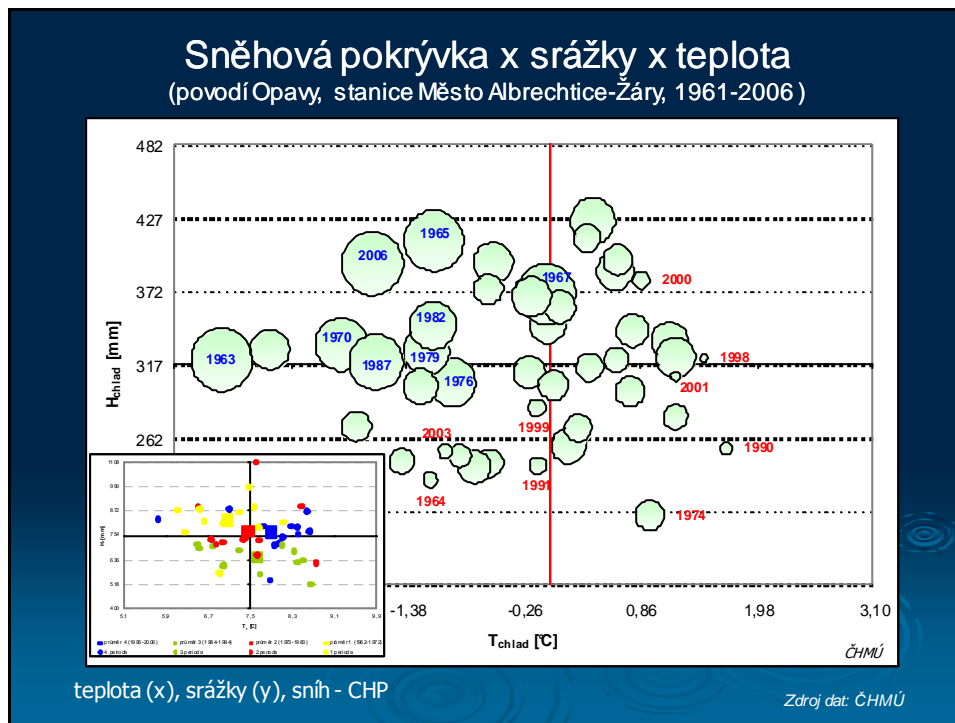
Zdroj dat: ČHMÚ

Trendy ve vývoji sněhové pokrývky (povodí Otavy, 1942-2006)

Stanice	Klatovy	Kašp. Hory	Churáňov
Nadmořská výška (m)	430	737	1118
Průměrná roční teplota vzduchu (°C)	8,1	6,2	4,4
Průměrný roční úhrn srážek (mm)	607	830	1098
Průměrná výška sněhové pokrývky (cm)	6,6	14,3	39,1
Průměrná maximální výška sněhové pokrývky (cm)	17,5	39,3	97,5
Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou	49,9	88	143,9



Zdroj dat: ČHMÚ



Statistické testy homogenity časových řad

Absolutní homogenita : metoda von Neumanna

Pettitův test (Pettit-Mann-Whitney test)

Wilcoxonův dvouvýběrový test (Mann-Whitney test)

Kruskal-Wallisův test

SNHT (standard normal homogeneity test)

Relativní homogenita: Alexanderssonův test

Wilcoxonův jednovýběrový test

Metoda von Neumanna je založena na hodnocení rozdílu mezi dvěma následujícími hodnotami, neříká nic o bodu změny. Další testy jsou spíše založeny na hodnocení pořadí prvků řady než na samotné hodnotě. Např.: v Pettitově testu se hledá maximální hodnota (K_T) testovací charakteristiky, označující pravděpodobný bod změny na základě dvou nezávislých výběrů x_1, \dots, x_t a x_{t+1}, \dots, x_N , kde N je délka časové řady a t rok pravděpodobné změny. U Wilcoxonova dvouvýběrového testu se hodnotí dva nezávislé výběry označené jako X_1 a X_2 o rozsahu N_1 a N_2 , opět testujeme přítomnost dělicího rozhraní. Kruskal – Wallisův test je zobecněním dvouvýběrového Wilcoxonova testu. SNHT (parametrický test – normální rozdělení) sonduje náhlou změnu v průměru časové řady - software AnClim, využití pro srážky a teploty.

U relativní homogenity se srovnává časová řada pochybné homogenity s řadami zajištěné homogenity.

Statistická analýza trendu s využitím Mann-Kendallov testu

Program MULTMK/PARTMK vy tv ořený Andersem Grím v allem a dále rozv inutý Claudii Libiseller z univerzity v Linköpingu pro MS Excel v programovací m jazy ce Visual Basic k v ýpočtu neparametrického Mann-Kendallov a testu .

Povodí	Ostružná				Blaniče				Vydra				
	měsíc	MK-S	p	trend	MK-S	p	trend	MK-S	p	trend	MK-S	p	trend
Qm													
1	0,52	0,99	-		1,84	0,05	↑	1,17	0,10	-	1,67	0,06	-
2	0,79	0,44	-		1,82	0,05	↑	1,12	0,29	-	1,25	0,28	-
3	-0,21	0,80	-		2,17	0,02	↑	1,19	0,23	-	1,19	0,23	-
4	0,23	0,81	-		-1,70	0,08	↓	2,08	0,05	↑	1,19	0,23	-
5	0,19	0,85	-		-2,92	0,00	↓	1,07	0,28	-	1,07	0,28	-
6	-0,84	0,40	-		-2,61	0,00	↓	-0,89	0,62	-	-0,89	0,62	-
7	-2,74	0,00	↑		-0,80	0,54	-	-2,25	0,02	↓	-2,25	0,02	↓
8	-3,37	0,00	↑		-0,33	0,73	-	-0,58	0,56	-	-0,58	0,56	-
9	-2,29	0,02	↓		-0,80	0,41	-	-1,39	0,16	-	-1,39	0,16	-
10	-2,44	0,01	↓		0,25	0,77	-	0,75	0,45	-	0,75	0,45	-
11	-1,73	0,09	↓		-0,26	0,78	-	0,17	0,90	-	0,17	0,90	-
12	-0,79	0,43	-		0,74	0,45	-	0,07	0,93	-	0,07	0,93	-
1	0,29	0,77	-		-0,09	0,92	-	0,78	0,43	-	0,78	0,43	-
2	0,62	0,59	-		0,07	0,90	-	1,01	0,31	-	1,01	0,31	-
3	1,08	0,20	-		0,21	0,83	-	1,31	0,24	-	1,31	0,24	-
4	-1,20	0,20	-		0,65	0,51	-	-1,30	0,19	-	-1,30	0,19	-
5	-1,55	0,12	-		1,30	0,19	-	-2,17	0,02	↓	-2,17	0,02	↓
6	-0,62	0,53	-		-0,92	0,35	-	-1,79	0,07	↓	-1,79	0,07	↓
Hm													
1	1,34	0,17	-		-1,28	0,20	-	0,65	0,39	-	0,65	0,39	-
2	0,43	0,67	-		-1,73	0,06	↓	-0,38	0,70	-	-0,38	0,70	-
3	0,67	0,57	-		0,87	0,38	-	0,62	0,52	-	0,62	0,52	-
4	0,17	0,87	-		-0,30	0,76	-	-0,16	0,95	-	-0,16	0,95	-
5	0,80	0,41	-		-0,30	0,76	-	-1,35	0,16	-	-1,35	0,16	-
6	1,48	0,15	-		1,30	0,19	-	1,92	0,17	-	1,92	0,17	-
Blaniče													
1	0,52	0,99	-		1,84	0,05	↑	1,64	0,10	-	1,64	0,10	-
2	0,91	0,36	-		1,57	0,10	↑	1,67	0,10	-	1,67	0,10	-
3	1,25	0,20	-		2,33	0,01	↑	1,33	0,39	-	1,33	0,39	-
4	1,33	0,12	-		0,86	0,33	-	0,78	0,43	-	0,78	0,43	-
5	0,97	0,39	-		3,67	0,00	↑	3,57	0,00	↑	3,57	0,00	↑
6	2,58	0,01	-		0,89	0,36	-	0,74	0,46	-	0,74	0,46	-
7	-0,14	0,88	-		1,21	0,22	-	0,83	0,40	-	0,83	0,40	-
8	1,04	0,29	-		3,37	0,00	↑	3,63	0,00	↑	3,63	0,00	↑
9	3,90	0,00	↑		-0,13	0,89	-	-0,23	0,84	-	-0,23	0,84	-
10	0,24	0,74	-		1,44	0,25	-	0,13	0,93	-	0,13	0,93	-
11	0,74	0,51	-		-0,81	0,42	-	0,63	0,53	-	0,63	0,53	-
12	0,07	0,95	-		1,40	0,19	-	1,35	0,16	-	1,35	0,16	-

pro soubor hodnot Z

$$T = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \text{sign}(Z_{1j} - Z_{kj})$$

$$S = \begin{cases} 1, & \text{v}^+ > 0 \\ -1, & \text{v}^+ < 0 \end{cases}$$

- 2 parametry k detekci trendu:
 - míra signifikace p (co nejblíže 0)
 - odhad velikosti směrnice, která určuje směr a velikost trendu MK-S (+ -)

1/ Sezónní Mann-Kendallův test

pro všechny sezóny

$$T_j = \sum_{k < j} \text{sign}(Z_{1j} - Z_{kj})$$

sezóna j

$$j = 1, \dots, n$$

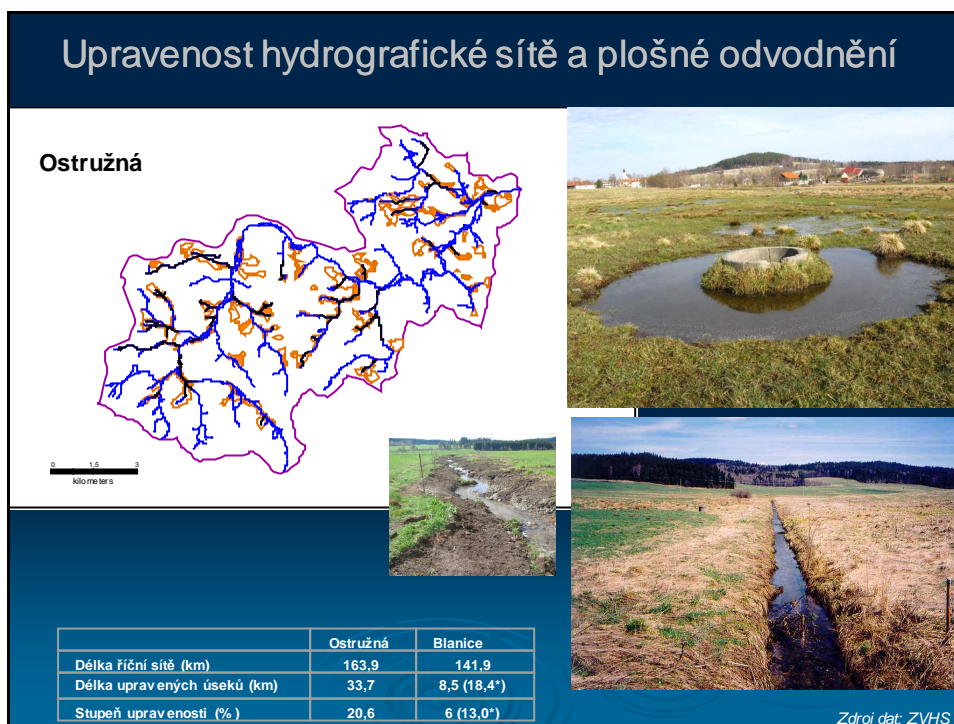
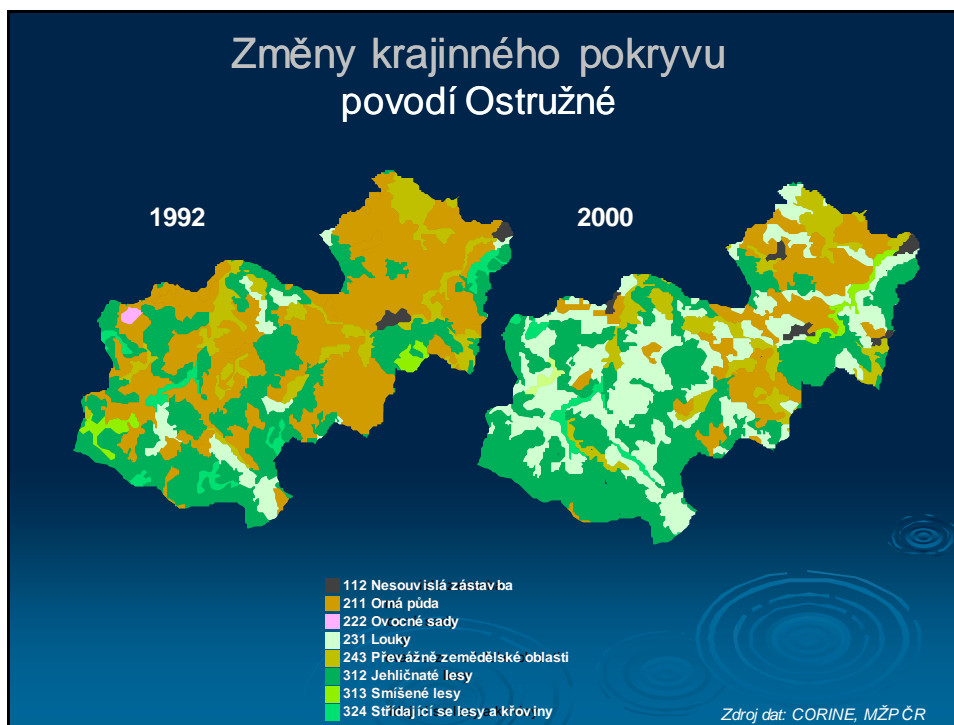
2/ Kendallův koeficient pořadové korelace T (testování analogie trendu X a Y)

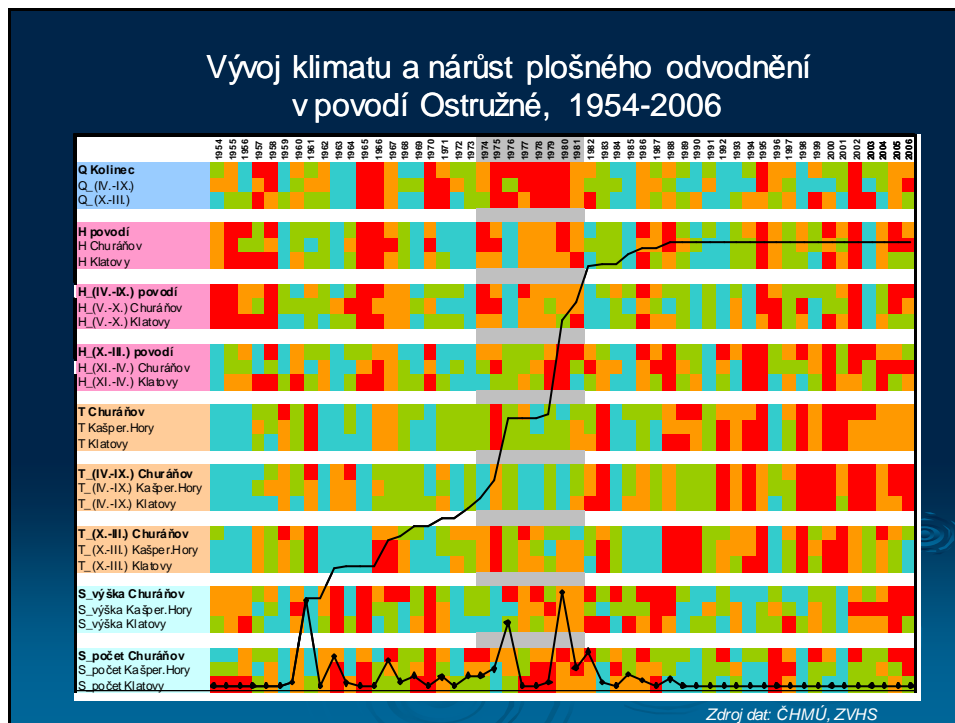
Hodnoty τ pro Qm a Hm v povodí Otava:

Období	Ostružná	Vydra	Horní Blaniče
1962-2002	0,349	0,717	0,355
1962-1974	0,608	0,790	0,607
1975-1982	0,200	0,793	0,224
1983-1990	0,644	0,632	0,680

Příklad použití Mann_Kendallov a testu pro data teploty vzduchu a sněhová data na stanicích Červená, Krnov a Opava (1962-2006)

Červená					Krnov					Opava				
Rada	n	MK-S	p	Trend	Rada	n	MK-S	p	Trend	Rada	n	MK-S	p	Trend
T ₁₁	45	-0,137	0,891	-	T ₁₁	45	-0,313	0,754	-	T ₁₁	45	-0,411	0,681	-
T ₁₂	45	1,087	0,277	-	T ₁₂	45	0,920	0,368	-	T ₁₂	45	0,773	0,439	-
T ₁	45	1,488	0,137	-	T ₁	45	1,360	0,174	-	T ₁	45	1,390	0,165	-
T ₂	45	0,881	0,379	-	T ₂	45	0,802	0,422	-	T ₂	45	0,979	0,328	-
T ₃	45	0,979	0,328	-	T ₃	45	0,891	0,373	-	T ₃	45	0,656	0,512	-
T ₄	45	1,694	0,090	-	T ₄	45	2,183	0,029	↑	T ₄	45	1,057	0,290	-
T ₅	45	2,565	0,010	↑	T ₅	45	3,320	0,001	↑	T ₅	45	1,615	0,106	-
T ₆	45	1,420	0,156	-	T ₆	45	3,028	0,002	↑	T ₆	45	0,735	0,463	-
T ₇	45	2,104	0,035	↑	T ₇	45	3,406	0,001	↑	T ₇	45	1,890	0,058	-
T ₈	45	2,907	0,004	↑	T ₈	45	3,663	0,000	↑	T ₈	45	1,880	0,060	-
T ₉	45	0,294	0,769	-	T ₉	45	0,950	0,342	-	T ₉	45	0,088	0,930	-
T ₁₀	45	0,450	0,652	-	T ₁₀	45	1,165	0,244	-	T ₁₀	45	1,273	0,203	-
T ₇	45	3,200	0,001	↑	T ₇	45	3,473	0,001	↑	T ₇	45	2,064	0,039	↑
T _{chlad}	45	1,919	0,055	-	T _{chlad}	45	1,859	0,063	-	T _{chlad}	45	1,683	0,092	-
T _{wp}	45	3,131	0,002	↑	T _{wp}	45	4,579	0,000	↑	T _{wp}	45	2,563	0,010	↑
S ₁₁	45	-1,879	0,060	-	S ₁₁	45	-0,812	0,417	-	S ₁₁	45	0,070	0,944	-
S ₁₂	45	-1,937	0,053	-	S ₁₂	45	-0,313	0,754	-	S ₁₂	45	-0,646	0,518	-
S ₁	45	-1,839	0,066	-	S ₁	45	-0,685	0,493	-	S ₁	45	-0,499	0,618	-
S ₂	45	-3,072	0,002	↓	S ₂	45	0,313	0,754	-	S ₂	45	-0,245	0,807	-
S ₃	45	-1,869	0,062	-	S ₃	45	-0,069	0,945	-	S ₃	45	-0,452	0,651	-
S ₄	45	-1,332	0,183	-	S ₄	45	-0,864	0,387	-	S ₄	45	-0,625	0,532	-
S ₅	45	-2,856	0,004	↓	S ₅	45	0,010	0,992	-	S ₅	45	-0,548	0,584	-
PD ₁₁	45	0,196	0,845	-	PD ₁₁	45	-0,120	0,905	-	PD ₁₁	45	0,329	0,742	-
PD ₁₂	45	-0,743	0,458	-	PD ₁₂	45	-0,343	0,731	-	PD ₁₂	45	-0,814	0,416	-
PD ₁	45	-1,026	0,305	-	PD ₁	45	-0,972	0,331	-	PD ₁	45	-0,961	0,337	-
PD ₂	45	-0,665	0,506	-	PD ₂	45	-0,255	0,799	-	PD ₂	45	-0,363	0,717	-
PD ₃	45	-0,729	0,466	-	PD ₃	45	-0,374	0,709	-	PD ₃	45	-0,414	0,679	-
PD ₄	45	-0,945	0,345	-	PD ₄	45	-0,477	0,633	-	PD ₄	45	-0,174	0,862	-
PD ₅	45	-1,136	0,256	-	PD ₅	45	-0,861	0,389	-	PD ₅	45	-0,842	0,400	-
Opava_S	45	-2,680	0,007	↓	Opava_T	45	2,367	0,018	↑					
Opavice_S	45	-1,761	0,078	-	Opavice_T	45	3,013	0,003	↑					





Shrnutí poznatků

- Bylo zjištěno období nárůstu odtoku v období 1974-1981 (Ostružná, Opavice), následované obdobím snižování průtoků (nehomogenitu prokázaly součtové čáry a potvrdily testy homogenity – r. 1983). Neprojevílo se na Vydři.
- Období vyšších průtoků (1974-1982) je vázáno na jedno ze srážkově bohatších období, vyznačuje se nadprůměrnou sněhovou pokrývkou, teplou zimou a chladným létem.
- Velké vody nemají zásadní vliv na homogenitu časových řad
- V srážkových řadách nebyly prokázány nehomogenity, v řadách teploty vzduchu se určitá nehomogenita projevila ve 2. pol. 80 let 20. stol.(1988-zачátek oteplování?)
- Trendové analýzy ve 40. letech časových řadách (1961-2006) prokázaly celkové snižování průměrného ročního průtoku, výrazné snížení průtoků v letních měsících a méně prokazatelně zvýšení v zimních měsících (např. Blаницe). Prokazatelné je zvyšování teploty v jarních, letních a také zimních měsících
- Významný je úbytek sněhové pokrývky (po r. 1988)-snížení počtu dní se sněhovou pokrývkou, zejména v nižších polohách a snižování průměrné výšky sněhové pokrývky.
- V 90. letech 20. stol. byly identifikovány významné změny ve využití ploch: pokles výměry orné půdy (Ostružná), kompenzovaný nárůstem travnatých ploch a lesa.
- Rozsáhlá hydromeliorační opatření ve 2. polovině 20. století (Ostružná a Blаницe) korespondují se zjištěným obdobím nárůstu odtoku (ne již Opavice).

Literatura

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. Geografie-Sborník ČGS, 110, č.1, Praha, s. 32-45.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2006): Changes of runoff regime according to human impact on the landscape. Geografie-Sborník ČGS, 111, č.3, Praha, s.292-304.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2009): Runoff changes in the Šumava Mountains (Black Forest) and the foothill regions: Extent of influence by human impact and climate changes. Water resources management, 23, s.1813-1834.

LEDVINKA, O. (2008): Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy. Diplomová práce. PřF UK. Praha. 122 s.

KRÁLOVEC, V. (2009): Změny srážkoodtokových poměrů v povodí horní Opavy. Diplomová práce. PřF UK. Praha. 125 s.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M., MALÝ, A. (2008): Monitoring odtokového režimu v experimentálních povodích v pramenné oblasti Blanice. In: Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní (Langhammer ed.). UK Praha. ISBN 978-80-86561-59-2. Praha, s. 144-150.