

UNIVERZITA KARLOVA

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Katedra fyzické geografie a geoekologie



**VÝVOJ ODTOKU VODY VE VYBRANÝCH POVODÍCH
KYRGYZSKÉHO HŘBETU, ŤAN-ŠAN**

**(Runoff development in selected catchments in the Kyrgyz
Range, Tian-Shan)**

Diplomová práce

Bc. Šárka Jedličková

Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Praha 2019

Zadání diplomové práce

Název práce

Vývoj odtoku vody ve vybraných povodích Kyrgyzského hřbetu, Ťan-Šan

Cíle práce

Diplomová práce si stanovuje následující cíle:

1. Analýza klimatických a hydrologických dat poskytnutých Institutem vodních problémů, Biškeku, Kyrgyzstán. Povodí Alamedin, Ala-Arča, Kara-Balta.
2. Vysledování trendů ve vývoji odtoku vody ve sledovaných povodích, srovnání s lokalitami ve Střední Asii a jiných světových pohoří.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Zájmovým územím bude povodí řek Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta, které se nachází na severní straně Kyrgyzského hřbetu, pohoří Ťan-Šan. Povodí budou zkoumána po závěrový profil. Hlavním datovým zdrojem jsou data z Institutu vodních problémů.

Datum zadání: 19.10.2016

Jméno studenta: Šárka Jedličková

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Podpis vedoucího katedry:

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D. za rady, trpělivost a za zajištění dat odtoku, srážek a teplot z Kyrgyzstánu, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Ondřeji Ledvinkovi, Ph.D. za pomoc a vysvětlení práce se statistickými analýzami, na kterých stojí výsledky mé práce. A v neposlední řadě bych ráda poděkovala všem, kdo mě celou dobu mého studia podporovali.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 16.4. 2019

.....

ABSTRAKT

Hlavním cílem této práce bylo zkoumat změny odtoku v povodí řek Ala-Arča, Alamaedin a Kara-Balta v Kyrgyzstánu a také změnu klimatických poměrů z dostupných stanic v okolí. Na základě dostupných dat byly jednotlivé odtokové, srážkové a teplotní řady podrobeny měsíčním, sezónním a ročním analýzám. Byla také ověřována absolutní a relativní homogenita dat za pomoci statistických testů, kterými jsou Mann-Whitney-Pettit test, SNHT test a Willcoxonův dvouvýběrový test pro absolutní homogenitu a Alexandersson test pro homogenitu relativní. pomocí Mann-Kendall testu byl zjišťován trend v jednotlivých řadách. V řadě dat odtoku bylo nalezeno velké množství nehomogenit. U řeky Ala-Arča a Kara-Balta byl ve většině případů zaznamenán rok změny v roce 1987. U řeky Alamedin byl rok změny zaznamenán o tři roky později v roce 1990. Vývoj trendu byl na řekách s ledovcovo-sněhovým režimem pozitivní, kdežto u řeky pouze se sněhovo-ledovcovým režimem nebyl zjištěn statisticky významný trend pro celé časové řady.

Klíčová slova: změna odtoku, srážky, teplota, ledovco-sněhový režim, sněhovo-ledovcový režim, homogenita, Mann-Whitney-Pettit test, SNHT test, trend, Mann-Kendall test, zalednění, Kyrgyzstán, Ťan-Šan

ABSTRACT

The main objective of this paper was to investigate runoff changes in the catchment Ala-Arca, Alameda and Kara-Balta in Kyrgyzstan, as well as change in climate conditions from available stations in the area. The runoff, precipitation, and temperature series were subjected to monthly, seasonal and annual analyses based on available data. Both absolute and relative data homogeneity were verified using statistical tests such as the Mann-Whitney-Pettit test, the SNHT test, and the Willcoxon's two-sample test for absolute homogeneity, and the Alexandersson's test for relative homogeneity. The Mann-Kendall test was used to determine the trend in each serie. There were inhomogeneities found in a number of runoff data. In most cases, the changes of rivers Ala-Arca and Kara-Balta were recorded in 1987. Compare to Ala-Arca and Kara-Balta, the changes of river Alamedin were recorded 3 years later, in 1990. There was a positive trend development by the rivers with the glacial-snow regime. However, there was no statistically significant trend for the entire time series.

Key words: runoff change, precipitation, temperature, glacial-snow regime, snow-glacial regime, homogenization, Mann-Whitney-Pettit test, trend, Mann-Kendall test, glaciation, Kyrgyzstan, Tien-Shan

Obsah

1. ÚVOD.....	13
1.1 Cíl práce.....	14
2. FYZICKO GEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	15
2.1 Geologické poměry	15
2.2 Geomorfologické poměry	16
2.3 Klimatické poměry	18
2.4 Hydrologické poměry	20
2.5 Půdní poměry a fauna a flóra.....	21
3. METODIKA.....	23
3.1 Zdroje dat	23
3.2 Homogenita.....	29
3.3 Trend v časových řadách.....	31
3.4 Použité softwary	31
4. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ NA ZÁKLADĚ DAT O PRŮTOKU	33
4.1 Charakteristika povodí	33
4.2 Odtokové poměry	40
5. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ NA ZÁKLADĚ DAT O SRÁŽKÁCH A TEPLITÁCH.....	58
5.1 Srážkové poměry.....	58
5.2 Teplotní poměry.....	70
6. HOMOGENITA V ČASOVÝCH ŘADÁCH.....	80
6.1 Homogenita dat průtoků.....	80
6.2 Homogenita dat srážek	87
6.3 Homogenita dat teplot.....	94
6.4 Shrnutí.....	101
7. TRENDY V ČASOVÝCH ŘADÁCH	102
7.1 Trend v datech průtoků.....	102
7.2 Trend v datech srážek	105
7.3 Trend v datech teplot.....	109
7.4 Shrnutí.....	111
8. ZMĚNY V ZALEDNĚNÍ VE SLEDOVANÝCH POVODÍCH.....	112
9. ZMĚNA ODTOKU VE STŘEDNÍ ASII A JINÝCH ČÁSTECH SVĚTA	123
10. DISKUZE.....	126

11. ZÁVĚR	130
12. ZDROJE	132
PŘÍLOHY.....	137

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázky

- Obr. č. 1: Mapa reliéfu Centrální Asie (červeně jsou vyznačeny hranice Kyrgyzstánu)
- Obr. č. 2: Zdrojová oblast povodí řeky Adygine v Kyrgyzském hřbetu
- Obr. č. 3: Permafrost v povodí řeky Adygine
- Obr. č. 4: Měsíční úhrny srážek v severním Ťan-Šanu
- Obr. č. 5: Schéma povodí s rozmístěním meteostanic
- Obr. č. 6: Povodí řeky Ala-Arča po závěrový profil v nadmořské výšce 1577 m
- Obr. č. 7: Povodí řeky Alamedin po závěrový profil v nadmořské výšce 1310 m
- Obr. č. 8: Povodí řeky Kara-Balta po závěrový profil v nadmořské výšce 1153 m
- Obr. č. 9: Rozmístění ledovců v povodí řeky Ala-Arča
- Obr. č. 10: Úbytek ledovců v povodí řeky Ala-Arča v letech 1964-2010
- Obr. č. 11: Tloušťka ledovců v povodí řeky Ala-Arči v roce 2000
- Obr. č. 12: Plochy zalednění povodí řek Ala-Arča a Alamedin s čísly ledovců z Katalogu ledovců 2018
- Obr. č. 13: Plochy zalednění povodí řeky Kara-Balta s čísly ledovců z Katalogu ledovců 2018

Tabulky

- Tab. č. 1: Umístění stanic použitých pro tuto práci
- Tab. č. 2: Základní údaje řeky Ala-Arča
- Tab. č. 3: Základní údaje řeky Alamedin
- Tab. č. 4: Základní údaje řeky Kara-Balta
- Tab. č. 5: Pravděpodobnost překročení Q_r v letech 1928-2015 řeky Ala-Arča
- Tab. č. 6: Pravděpodobnost překročení Q_r v letech 1926-2015 řeky Alamedin
- Tab. č. 7: Pravděpodobnost překročení Q_r v letech 1927-2015 řeky Kara-Balta
- Tab. č. 8: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu a výsledky relativní homogenity Alexanderssonova testu pro řeku Ala-Arču v jednotlivých obdobích

Tab. č. 9: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu a výsledky relativní homogenity Alexanderssonova testu pro řeku Alamedin v jednotlivých obdobích

Tab. č. 10: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu a výsledky relativní homogenity Alexanderssonova testu pro řeku Kara-Baltu v jednotlivých obdobích

Tab. č. 11: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu na stanici Baitik (1580 m n. m.)

Tab. č. 12: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu na stanici Biškeek (756 m n. m.)

Tab. č. 13: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu na stanici Alplager (2428 m n. m.)

Tab. č. 14: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu na stanici Ala-Arča (2953 m n. m.)

Tab. č. 15: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu na stanici Chon-Arik (1108 m n. m.)

Tab. č. 16: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu na stanici Tuja-Ašu (3225 m n. m.)

Tab. č. 17: Úroveň signifikance pro SNHT test s hladinou významnosti 5 %

Tab. č. 18: Výsledky absolutní homogenity SNHT testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova testu na stanici Baitik (1580 m n. m.)

Tab. č. 19: Výsledky absolutní homogenity SNHT testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu a Kruskal-Wallisova testu na stanici Biškeek (756 m n. m.)

Tab. č. 20: Výsledky absolutní homogenity SNHT testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu na stanici Alplager (2428 m n. m.)

Tab. č. 21: Výsledky absolutní homogenity SNHT testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu na stanici Tuja Ašu (3225 m n. m.)

Tab. č. 22: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu na průtocích řeky Ala-Arči

Tab. č. 23: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu na průtocích řeky Alamedin

Tab. č. 24: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu na průtocích řeky Kara-Balta

Tab. č. 25: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu na srážkách ze stanice Baitik (1580 m n. m.)

Tab. č. 26: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu na srážkách ze stanice Biškek (756 m n. m.)

Tab. č. 27: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu na srážkách ze stanice Alplager (2428 m n. m.)

Tab. č. 28: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu na srážkách ze stanice Chon-Arik (1108 m n. m.)

Tab. č. 29: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu na srážkách ze stanice Tuja Ašu (3225 m n. m.)

Tab. č. 30: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu v teplotách ze stanice Baitik (1580 m n. m.)

Tab. č. 31: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu v teplotách ze stanice Biškek (756 m n. m.)

Tab. č. 32: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu v teplotách ze stanice Alplager (2428 m n. m.)

Tab. č. 33: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu v teplotách ze stanice Tuja Ašu (3225 m n. m.)

Tab. č. 34: Zalednění povodí řeky Ala-Arča v km² z dostupné literatury

Grafy

Graf č. 1: Průměrné roční teploty na stanicích Baitik, Biškek, Alplager a Tuja Ašu z dostupných let

Graf č. 2: Průměrné roční srážky na stanicích Baitik, Biškek, Alplager, Chon Arik, Tuja Ašu a Ala-Arča z dostupných let

Graf č. 3: Podélný profil řeky Ala-Arči a jejich vybraných přítoků

Graf č. 4: Podélný profil řeky Alamedin a jejich vybraných přítoků

Graf č. 5: Podélný profil řeky Kara-Balta a jejich vybraných přítoků

Graf č. 6: Dlouhodobé měsíční průtoky Q_m z období 1928-2015 v povodí Ala-Arča

Graf č. 7: Dlouhodobé měsíční průtoky Q_m z období 1926-2015 v povodí Alamedin

Graf č. 8: Dlouhodobé měsíční průtoky Q_m z období 1927-2015₂ v povodí Kara-Balta

Graf č. 9: Procentuální měsíční rozložení odtoku za období 1928-2015 v povodí Ala-Arča

Graf č. 10: Procentuální rozložení odtoku v jednotlivých ročních obdobích z let 1928-2015 v povodí Ala-Arča

Graf č. 11: Procentuální měsíční rozložení odtoku za období 1926-2012 v povodí Alamedin

Graf č. 12: Procentuální rozložení odtoku v jednotlivých ročních obdobích z let 1926-2015 v povodí Alamedin

Graf č. 13: Procentuální měsíční rozložení odtoku za období 1927-2015 v povodí Kara-Balta

Graf č. 14: Procentuální rozložení odtoku v jednotlivých ročních obdobích z let 1927-2015 v povodí Kara-Balta

Graf č. 15: Změny sezónního rozložení průtoku řeky Ala-Arča v letech 1929-2015

Graf č. 16: Změny sezónního rozložení průtoku řeky Alamedin v letech 1927-2015

Graf č. 17: Změny sezónního rozložení průtoku řeky Kara-Balta v letech 1928-1994

Graf č. 18: Roční průtoky v letech 1928-2015 řeky Ala-Arča

Graf č. 19: Roční průtoky v letech 1928-2015 řeky Alamedin

Graf č. 20: Roční průtoky v letech 1927-2015 řeky Kara-Balta

Graf č. 21: Dlouhodobé průměrné měsíční srážky na stanicích Baitik, Biškek, Alplager, Ala-Arča, Chon Arik a Tuja Ašu z dostupných let

Graf č. 22: Procentuální měsíční rozložení srážek za sledované období na stanicích Baitik, Biškek, Alplager, Ala-Arča, Chon Arik a Tuja Ašu

Graf č. 23: Procentuální rozložení srážek v jednotlivých ročních obdobích z dat dostupných let na stanici Baitik, Biškek, Alplager, Ala-Arča, Chon Arik a Tuja Ašu

Graf č. 24: Roční množství srážek v letech 1915-2016 na stanici Baitik

Graf č. 25: Roční množství srážek v letech 1932-2010 na stanici Biškek

Graf č. 26: Roční množství srážek v letech 1979-2016 na stanici Alplager

Graf č. 27: Roční množství srážek v letech 1960-1972 na stanici Ala Arča

Graf č. 28: Roční množství srážek v letech 1936-1988 na stanici Chon Arik

Graf č. 29: Roční množství srážek v letech 1960-2016, bez let 1972,1974, 1975, 1977 a 1985 až 1999 na stanici Tuja Ašu

Graf č. 30: Změny sezónního rozložení srážek na stanici Baitik v letech 1916-2016

Graf č. 31: Změny sezónního rozložení srážek na stanici Biškek v letech 1933-2008

Graf č. 32: Dlouhodobé průměrné měsíční teploty na stanicích Baitik, Biškek, Alplager a Tuja Ašu z dostupných let

Graf č. 33: Amplitudy teplot v letech 1932-2010 na stanici Biškek

Graf č. 34: Amplitudy teplot v letech 1915-2016 na stanici Baitik

Graf č. 35: Amplitudy teplot v letech 1979-2010 na stanici Alplager

Graf č. 36: Amplitudy teplot v letech 1976-2016 na stanici Tuja Ašu

Graf č. 37: Roční průměrné teploty v letech 1915-2016 na stanici Baitik

Graf č. 38: Roční průměrné teploty v letech 1932-2010 na stanici Biškeek

Graf č. 39: Roční průměrné teploty v letech 1979-2012 na stanici Alplager

Graf č. 40: Roční průměrné teploty v letech 1960-2016 na stanici Tuja Ašu

Graf č. 41: Roční průměrné teploty v letech 1996-2016 na stanici Tuja Ašu

Graf č. 42: Jednoduchá součtová čára pro vybrané Q_m a jejich body zlomu pro řeku Ala-Arču

Graf č. 43: Podvojně součtové čáry pro vybrané časové řady se zobrazením bodu zlomu pro řeku Ala-Arču

Graf č. 44: Jednoduchá součtová čára pro vybrané Q_m a jejich body zlomu pro řeku Alamedin

Graf č. 45: Podvojně součtové čáry pro vybrané časové řady se zobrazením bodu zlomu pro řeku Alamedin

Graf č. 46: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m a jejich body zlomu pro stanici Baitik (1580 m n. m.)

Graf č. 47: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m a jejich body zlomu pro stanici Biškeek (756 m n. m.)

Graf č. 48: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m a jejich body zlomu pro stanici Alplager (2428 m n. m.)

Graf č. 49: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m a jejich body zlomu pro stanici Baitik (1580 m n. m.)

Graf č. 50: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m a jejich body zlomu pro stanici Biškeek (756 m n. m.)

Graf č. 51: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m a jejich body zlomu pro stanici Alplager (2428 m n. m.)

Graf č. 52: Změna zalednění ve vybraných povodích v Kyrgyzstánu

Graf č. 53: Závislost průměrného ročního průtoku na úbytku zalednění

Graf č. 54: Závislost průměrného ročního průtoku na úbytku zalednění v povodích Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta

1. ÚVOD

Příroda a klima se vyvíjí od nepaměti, v minulosti v době pleistocénu docházelo ke střídání dob ledových (glaciálů) a dob meziledových (interglaciálů). Teplota v období interglaciálů byla podobná teplotám v dnešní době či byla i vyšší. V posledních letech je právě změna klimatu velmi řešeným a zkoumaným tématem, je připisována z velké části činnosti člověka, který do ovzduší vypouští velké množství znečišťujících látek. Rychlost změny klimatu je tedy poměrně rychlá. Dochází především k oteplování, ale i ke změně rozložení srážek během roku. Zvyšuje se také četnost extrémních katastrof jako jsou například povodně nebo naopak období sucha. Tyto změny klimatu se pak stávají pro velkou část světa problémem. Zvláště hory jsou pak extrémně citlivé, neboť dochází k tání ledovců a permafrostu a tím i ke změně ve vodních režimech a ekosystémech (Novikov a Kelly, 2016). Většina vodních toků v regionu střední Asie je tvořena v horských oblastech, které jsou zásobeny vodou především z tání sněhové pokrývky a ledovců, a jejich úbytek tedy významně ovlivní hydrologický režim těchto vodních toků (Dolgikh a kol., 2014). Zmenšování množství ledovců není trend jen poslední doby, dochází k němu již od konce Malé doby ledové, ale především v posledních desetiletích byl zaznamenán jeho dramatický úbytek (Bolch, 2015).

Mnoho autorů ve své práci uvádí (např. Bolch, 2015), že teplota narůstá významněji od padesátých let, což bylo doprovázeno jen mírným a nevýznamným nárůstem srážek v pohoří Ťan-Šan. Modely vypočítávající nejpravděpodobnější změnu klimatu předpovídají, že v budoucnu bude stále docházet ke změně teplot a množství srážek ve střední Asii. Podle modelových studií by se měla průměrná teplota ve střední Asii do roku 2050 zvýšit o 2,6 – 3,2 °C. Dále se předpovídá, že by mělo dojít i ke změně rozložení srážek během roku, kdy bude docházet ke zvyšování množství srážek v zimních měsících a k poklesu po zbytek roku (Manandhar a kol., 2018). Tyto všechny události povedou ke změně odtoku a ovlivnění života lidí v této oblasti.

Tato diplomová práce navazuje na bakalářskou práci Jedličkové (2016), ve které byly přiblíženy základní metody pro zkoumání změn odtoku ve vysokohorském prostředí se zaměřením na pohoří Ťan-Šan v Kyrgyzstánu.

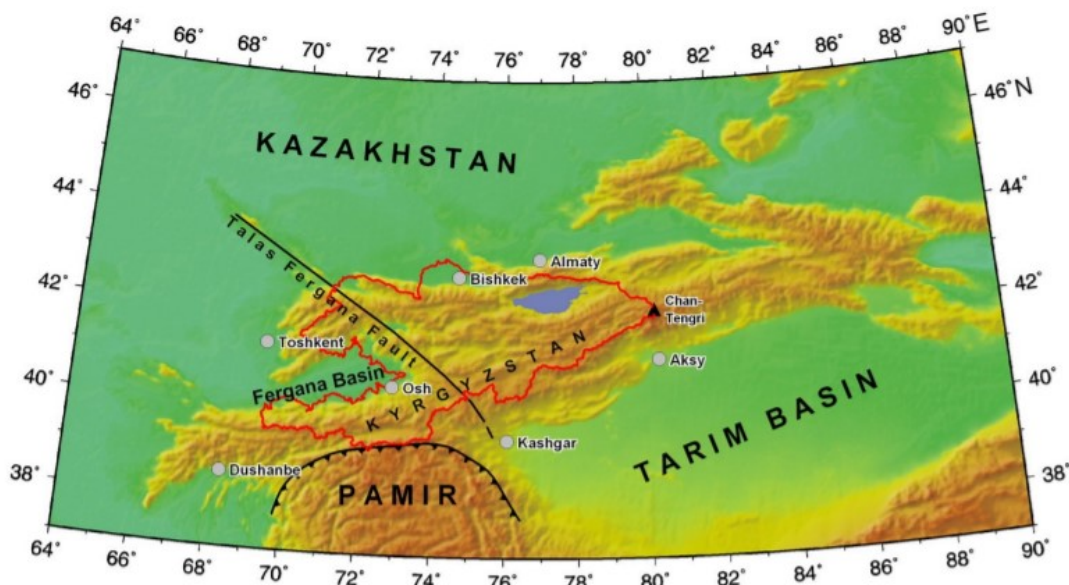
1.1 Cíl práce

Hlavním cílem této práce je analýza klimatických a hydrologických dat poskytnutých Institutem vodných problem a hydroenergetiky, Biškek, Kyrgyzstán. Data byla poskytnuta pro povodí řek Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta. Dalším cílem bylo vysledovat, zda se jedná o homogenní časové řady, případně kdy dochází ke zlomu a také vyzkoumat trendy ve vývoji odtoku vody ve sledovaných povodích a porovnat je s dalšími řekami nacházejícími se ve střední Asii a také v jiných světových pohořích. Jedna z kapitol je také věnována změně zalednění v povodích zkoumaných řek dostupných z literatury.

V rešeršní části se práce zabývá fyzicko-geografickými charakteristikami zkoumané oblasti, které by nám měly přiblížit podmínky lokalit řek Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta.

2. FYZICKO GEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Povodí řek Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta leží na území Kyrgyzstánu v pohoří Ťan-Šan. Kyrgyzstán je jedním nejhornatějších států světa (obr. č. 1). Průměrná nadmořská výška je zde 2750 m n.m. (geominprojects.com). Uvádí se, že 94 % povrchu Kyrgyzstánu leží více jak 1000 m n.m. (geominprojects.com) a Aizen a kol. (1997) uvádí, že ve výšce nad 3000 m pak leží okolo poloviny veškerého území. Nejvýznamnějšími pohořími jsou zde pohoří Ťan-Šan a na jihovýchodě Pamíro-Altaj.



Obr. č. 1: Mapa reliéfu Centrální Asie (červeně jsou vyznačeny hranice Kyrgyzstánu)

Zdroj: Mikolaichuk a kol. (2008)

Zájmové území se nachází v pohoří Ťan-Šan, konkrétně v Kyrgyzském hřbetu. Pohoří Ťan-Šan se rozkládá mezi 69° a 95° v.d. a 39° a 46° s.š. (Aizen a kol., 1997). Táhne se tedy v délce přibližně 2600 km (Černík, Sekyra 1969). Délka Kyrgyzského hřbetu je pak 400 km (Aizen a kol., 1996). Orientace pohoří je převážně od západu na východ. Nejvyšší vrchol je Pik Pobeda s výškou 7439 m (Aizen a kol., 1997).

2.1 Geologické poměry

Pohoří Ťan-Šan vzniklo v pozdním Oligocénu až Pleistocénu. Podle Mikolaichuk a kol. (2008) se oblast kyrgyzského hřbetu nachází v Centrální části, která je na západě ohraničena zlomem Talas-Fergana a na východě vrcholem Chan-Tengri (jejich umístění vidíme na obr. č 1).

Centrální Ťan-Šan pak dále můžeme rozdělit na severní, střední a jižní. Tektonické zóny byly vytvořeny během vrásnění v paleozoiku (Mikolaichuk a kol., 2008).

Základní geologická struktura Kyrgyzstánu je tvořena archaickými a proterozoickými metamorfními komplexy. Struktury vzniklé na základě plastické degormace (folded structures) jsou tvořeny paleozoickými sedimentárními a vulkanogenními formacemi. Mezihorské plochy jsou pak z velké části tvořeny mezokenozoickými horninami (Geoportal of Kyrgyzstan, 2016).

Na základě tektogeneze, můžeme rozdělit Ťan-Šan do tří oblastí. V severní části se tektogeneze datuje do Kaledonského vrásnění, v jižní část do hercynského a ve střední části najdeme znaky jak kaledonského, tak i hercynského vrásnění (Geoportal of Kyrgyzstan, 2016).

Nejnovejší fáze vývoje započala přibližně před 25 miliony lety a pokračuje až do současnosti. Změny reliéfu jsou způsobeny náhlými pohyby zemské kůry. Pohyby se vyskytují podél zlomů, tím neaktivnějším je zlom Talas-Fergana (Encyklopedia Britannica, 2019b).

V oblasti povodí řek Ala-Arča a Alamedin se nejvíce vyskytují gabro-diority, granity a grano-diority. Především v povodí řeky Alamedin se vyskytují vápence a pískovce. V okolí řek se pak vyskytují holocenní a pleistocenní sedimenty (Geologická mapa Kyrgyzského hřbetu 1:200 000). Podle Koppes a kol. (2008) jsou morény v povodí řeky Ala-Arči, které zkoumali, složeny ze žuly, vyskytují se zde také metakonglomeráty, uložené v matrici písku.

V severní části Ťan-Šanu se nachází velké množství nalezišť nerostných surovin. Byly zde objeveny ložiska zlata, stříbra, arzeny, mědi a beryllia. Na některých místech je pak možné těžit uhlí a stavební materiál (Geoportal of Kyrgyzstan, 2016).

2.2 Geomorfologické poměry

V pohoří Ťan-Šan (Kyrgyzský hřbet) převládá především glaciální a fluvioglaciální reliéf. Oblast byla v minulosti silně ovlivněna pohybem ledovců, a to především během pleistocenního zalednění. Můžeme zde vidět útvary glaciálního reliéfu jako kary, údolí tvaru U, morény a oblíky nebo glaciální hříby. Nyní je povrch ovlivňován především činností vody. Z fluviálních útvarů jsou zde zastoupeny sandry, údolí tvaru V a náplavové kužele (Aizen a kol., 1996). Pohled do krajiny v povodí řeky Ala-Arči můžeme vidět na obr. č. 2. Fotka byla pořízena ve 4000 m n.m.

Jako pozůstatek činnosti ledovce se zde nachází celá řada generací morén. Koppes a kol. (2008) uvádí, že ta nejmladší moréna se nachází 2 km od současné hranice ledovce. Každý pohyb

ledovce samozřejmě zahlazuje stopy činnosti ledovců předešlých, ale v povodí řeky Ala-Arči nacházíme i fragmenty starších morén (Koppes a kol., 2008).



Obr. č. 2: Zdrojová oblast povodí řeky Adyginé v Kyrgyzském hřbetu

Foto: vlastní

Oblast Ťan-Šanu je také ovlivněna a modelována činností permafrostu¹. Na obr. č. 3 vidíme odkrytou část permafrostu, vyfotografovanou v červenci 2017 v povodí řeky Adyginé (levostranný přítok řeky Ala-Arča). Zóna alpického permafrostu v pohoří Ťan-Šanu patří do regionu Asijského, vysokohorského permafrostu. Permafrost zde vzniknul před 1,6 miliony lety, z důvodu vysoké nadmořské výšky (Aubekeroev and Gorbunov, 1999). Množství permafrostu se během doby měnilo, ale nikdy z něj zcela nevymizelo. Změna množství permafrostu byla způsobena neustálým zvyšováním pohoří a také v důsledku klimatických změn. Na základě periglaciálních znaků lze zjistit, že se permafrost vyskytoval i v nižších nadmořských výškách, než je tomu dnes. Největšího rozšíření dosahoval během pozdního Pleistocénu, kdy zde byla nízká vlhkost vzduchu a teplota. Hranice permafrostu tak byla ve výšce 900-1000 m n.m. Naopak nejmenšího rozšíření dosahoval permafrost v raném Holocénu (Marchenko a kol., 2007). V severní části Ťan-Šanu, kam spadá zkoumaná oblast Marchenko a kol. (2007) uvádí, že kontinuální permafrost se nachází ve výšce 3500 m a vyšší, nekontinuální pak v rozmezích výšek

¹ Permafrost je trvale zmrzlá vrstva pod zemským povrchem, která se skládá z půdy, štěrku a písku, obvykle spojeným ledem

3500 – 3200 m. V nadmořské výšce 3200 – 2700 m pak ještě můžeme narazit na permafrost sporadický. Výška 2700 m n.m. souvisí s výškou nulové izotermy (Marchenko a kol., 2007).



Obr. č. 3: Permafrost v povodí řeky Adygine

Foto: vlastní

Ledovce a jejich degradace

Ledovce a degradace významně ovlivňují geomorfologické poměry. Při degradaci ledovce dochází ke vzniku pohřbených ledů, kdy se od ledovce oddělují obrovské masy tzv. mrtvého ledu. Tyto útvary jsou v pohoří Ťan-Šan široce rozšířeny. Jelikož dochází k jejich překryvu mocným morénovým materiálem, jsou dobře izolovány a lze je zde najít po dlouhou dobu. I tyto pohřbené ledy mají důležitou úlohu ve vývoji odtoku horských řek. Pohřbené ledy jsou součástí ledovcovo-morénových komplexů, což je geologická struktura, zformovaná ledovcem za jedno období zalednění v jedněch fyzicko-geografických podmínkách (Erochin a kol, 2013).

2.3 Klimatické poměry

Střední Asie má díky svému umístění extrémně kontinentální klima (Koppes, 2008). Důležitou roli v tvorbě klimatických podmínek ve střední Asii hraje pohoří Ťan-Šan (Aizen a kol., 1997). Ťan-Šan totiž představuje přírodní bariéru západním a severním vzdušným masám, které

směřují do střední Asie (Takeuchi a kol., 2014). Převládajícím prouděním jsou zde právě větry ze západu, či severozápadu (Liu a Han, 1992).

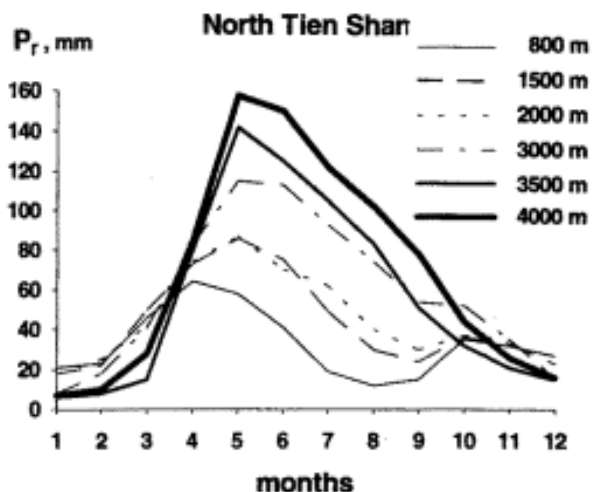
V pohoří Ťan-Šan se srážky vyskytují především na jaře a na podzim (Koppes, 2008). Roční úhrn srážek v Kyrgyzstánu se pohybuje od 1000 mm/rok v Kyrgyzském hřbetě až po méně než 300 mm/rok v povodí řeky Aksai. Sezónní srážky jsou způsobeny interakcí atmosférické cirkulace ze Sibiřské výše a západní níže (Aizen a kol., 1997). V zimě je oblast pod silným vlivem cirkulace Sibiřské anticyklony, což způsobuje pokles srážek. Poté dojde v období března k oslabení Sibiřské anticyklony, což má za následek vydatné srážky (Aizen a kol., 1996).

Podnebí Kyrgyzstánu lze tedy charakterizovat chladnou zimou a horkým létem, avšak jsou zde i velké odchylky na základě nadmořské výšky (Dzunusova, 2008).

Vzhledem ke specifickým fyzickým a geografickým podmínkám se změna klimatu v Kyrgyzstánu nepatrně liší od globálních trendů. V letech 1976-2014 byl v Kyrgyzstánu pozorován nárůst průměrné roční teploty o 0,18 °C každých deset let. Pro porovnání pro svět se uvádí nárůst teploty o 0,167 °C za každých deset let. Růst teploty ale není rovnoměrný, maximální nárůst teploty byl zaznamenán na jaře, kdy se teplota zvýšila o 0,42 °C za deset let. Výraznější nárůst teploty je pak i ve městech jako například Biškeku. I v případě množství srážek dochází k nárůstu ročních srážek, v období 1976-2014 to pak bylo o 2,9 % každých deset let. Maximální nárůst byl pak zaznamenán v letních měsících, kdy došlo ke zvýšení o 5,2 % za deset let. V jarních měsících byl zaznamenán naopak pokles množství srážek a to o 1,6 % za dobu deseti let (Itibaev, 2015).

Na základě různých klimatických vlastností lze uvést, že v Kyrgyzstánu lze definovat čtyři různé vertikální klimatické zóny. První z nich je Valle-piedmont zóna, která se rozkládá od 500/600 m až po 900/1200 m n.m. Tato zóna je charakterizována horkým létem (červenec 20-25 °C) s mírně chladnou zimou (leden -4 až -7 °C) a srážkovým deficitem. Druhou oblastí je Mid-mountain zóna (střední-horská zóna), která zasahuje od nadmořských výšek 900/1200 m do 2000/2200 m. Typickým klimatem v této oblasti je mírné klima s teplým létem (červenec 18-19 °C) a mírně chladnou zimou (leden -7 až -8 °C). Třetí zónou je zóna vysokohorská, která se rozkládá od 2000/2200 m až do 3000/3500 m n.m. Tato oblast je charakterizována chladným létem (červenec 11-16 °C) a chladnou zimou (leden -8 až -10 °C). Posledním pásem je zóna sněhová, která leží výše než 3500 m n.m. a je charakterizována velmi chladným klimatem. Teploty v červenci jsou 4-7 °C, lednové se pohybují okolo -19 až -22 °C (Itibaev, 2015).

S těmito zónami souvisí i množství srážek, kdy průměrné množství srážek v jednotlivých nadmořských výškách můžeme vidět na obr. č. 4., který nám ukazuje množství srážek z oblasti severního Ťan-Šanu, kam patří i zájmová oblast této práce. Množství srážek s narůstající nadmořskou výškou roste. Do 2000 m n. m. jsou jasně patrná dvě maxima srážek, ve vyšších nadmořských výškách, hlavně tedy od 3500 m n.m., máme maximum jen jedno.



Obr. č. 4: Měsíční úhrny srážek v severním Ťan-Šanu

Zdroj: Aizen a Aizen (1994)

2.4 Hydrologické poměry

Dominantní složkou odtoku je ve střední Asii voda ze sezónní pokrývky, neboť většina řek zde začíná v horách. Sněhová pokrývka je citlivá na změny teploty, proto vlivem oteplování dochází i ke změnám odtoku. Hlavním důsledkem klimatických změn bude snižování výšky sněhové pokrývky, která povede v pohoří Ťan-Šan i ke snížení odtoku (Zhou a kol., 2017). Kromě sněhové pokrývky jsou řeky napájeny z ledovců a permafrostu. Množství vody z těchto zdrojů z celkového množství vody se u jednotlivých řek liší, ale podle většiny studií se odtok z ploch s vodou v pevném stavu odhaduje mezi 40-80 % veškeré vody (Shahgedanova a kol., 2018). Aizen a kol. 1995 ve své práci uvádí, že pro řeku Ala-Arča je glaciální odtok během léta 40 % z celkového ročního odtoku a k tomu ještě 18 % odečte během jara a léta ze sněhové pokrývky. Ze srážek pak odtéká 8 %. Díky tomu, že velká část řek je napájena významně z ledovců, stává se nejčastějším režimem této oblasti glaciálně-nivální (v našem případě mají tento režim řeky Ala-Arča a Alamedin). Ovšem některá povodí již nemají takové množství ledovců, proto je jejich režim niválně-glaciální (řeka Kara-Balta).

Žádná z řek Kyrgyzstánu nedoteče do Světového oceánu, všechny končí v bezodtoké oblasti. Řeky z pohoří Ťan-Šan končí v jedné ze čtyř bezodtokých pánví, kterými jsou pánve Aralo-Kaspická, Balkašská, Issyk-Kulská a Tarimská (Aizen a kol, 1997). Řeka Chu, do které se vlévají řeka Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta, končí v bezodtoké oblasti Aralo-Kaspické.

Odtok z řek ve střední Asii dosahuje maxim od května do září, kdy vrcholí odtoky z hor. V dolních částech toku je voda z řek významně užívána pro zavlažování (Shahgedanova a kol., 2018).

Regionální scénáře předpovídají, že ve střední Asii bude pokračovat v 21. století oteplování, což bude mít negativní vliv na množství ledovců a permafrostu v oblasti. Jednotlivé modely se rozcházejí, co se týče množství srážek, ale žádný nepředpokládá, že by došlo ke zvýšení srážek, což by mělo za následek zastavení úbytku ledovce. Většina modelů dále ukazuje, že zde bude docházet nejdříve k nárůstu odtoku, z důvodu rychlejšího odtávání ledovců, ale poté po jejich odtání nastane pokles (Shahgedanova a kol., 2018).

2.5 Půdní poměry a fauna a flóra

V pohoří Ťan-Šan je několik vegetačních pásem. Nad 2800 metrů nad mořem není vegetace příliš rozšířená, narazíme zde především na kamení a ledovec. V nadmořské výšce 2800 až 3200 m se nachází především alpské louky. V pásmu 1500 až 2800 jsou spíše subalpínské louky a lesy. Pod 1500 m n.m. se vyskytují smíšené lesy a pod hranicí 800-900 m můžeme narazit na step (Aizen a kol. 1996).

V Kyrgyzstán můžeme nalézt zástupce mechorostů, přesliček, nahosemenných rostlin a krytosemenných rostlin. Nejdominantněji se zde vyskytují rostliny ze zástupců krytosemenných rostlin, kdy dvouděložné rostliny jsou zde zastoupeny 5krát častěji než jednoděložné. Z druhů pak nejčastěji narazíme na rostliny Asteraceae (druh hvězdčovitý), Fabaceae (druh bobovitý) a Poaceae (druh lipnicovitý). Všechny tyto druhy jsou charakteristické pro celou oblast střední Asie (Dzunuzova, 2008). Je zde známo 3969 známých druhů cévnatých rostlin, nižších rostlin zde můžeme najít 1196 druhů a hub 2179 druhů (Pešout, 2017a).

V Kyrgyzských lesích na severních svazích pak nejčastěji najdeme jedli (*Abies semenovii*) a smrk (*Picea schrenkiana*) (Černík a Sekyra 1969), ale narazíme zde třeba i na topol, vrbu anebo rakytník. Lesy zabírají 4,2 % celkového území republiky a nalezneme v nich přes 120 druhů stromů a keřů (Dzunuzova, 2008).

Rovinatá půda v Kyrgyzstánu zabírá pouze 11 % z celkového území. Z toho důvodu je zde kladen hlavní důraz na chov zvířat. Z důvodu horského rázu krajiny republiky, je zde velké množství ploch půdy, která není využitelná pro zemědělství. Z celkového území zabírá 45 % pastvina a 44 % zabírají jezera, ledovce a horské pásy (Dzunuzova, 2008).

Podle Dzunuzova (2008) můžeme půdy Kyrgyzstánu rozdělit do několika hlavních oblastí: půdy podhůří (soils of foothills), půdy nižších hor (soils of hilly mountain), půdy lesů (soils of forest), půdy subalpínského pásu vysokých hor (soils of sub-alpine belt of high mountains), půdy alpského pásu (alpine belt soils) a půdy vysokohorské divočiny (soils of high mountain wilderness). Tato velká diverzita půd je charakteristická pro horský reliéf.

Údolí řeky Ču, do které patří i povodí řek Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta, je jednou z hlavních zemědělských oblastí Kyrgyzstánu (Dzunuzova, 2008).

Velkým problémem je v Kyrgyzstánu zasolování půdy, které je způsobováno nevhodným zavlažováním (Dzunuzova, 2008).

Ze známých živočišných druhů zde najdeme 84 druhů savců, 369 druhů ptáků, 70 druhů ryb a 39 druhů plazů (Pešout, 2017a). V pohoří Ťan-Šanu najdeme zástupce především osla divokého, kozy, ovce či sviště (Černík a Sekyra, 1969). Z ptactva je zde možné zahlédnout orla skalního, supy či orlosupy. V Kyrgyzském hřbetu se vyskytuje celá řada ohrožených druhů živočichů jako například kozorožec sibiřský, medvěd hnědý či levhart sněžný (Pešout, 2017b).

Ochrana životního prostředí v Kyrgyzstánu se řídí zákonem na ochranu přírody, o ochraně životního prostředí a o zvláště chráněných územích. Pro oblast ochrany životního prostředí zde byla zřízena agentura Státní agentura pro ochranu životního prostředí a lesnictví Kyrgyzstánu. V současnosti je 4,6 % území republika, na které se nachází národní parky a zapovědníky (přísné státní rezervace) (Pešout, 2017a). K roku 2016 se zde nacházelo 10 zapovědníků a 9 národních parků, z nichž jeden se nachází v povodí řeky Ala-Arči, ten je národním parkem od roku 1976 a jeho rozloha je 211 km² (Pešout, 2017b).

3. METODIKA

3.1 Zdroje dat

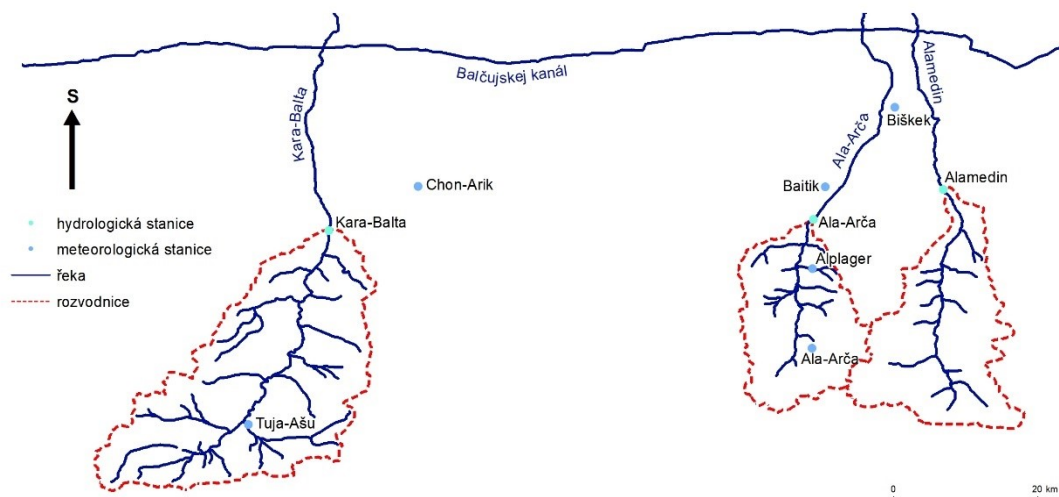
V Tab. č. 1 vidíme seznam použitých stanic i s jejich přesným umístěním, to pak je názorně vidět na obr. č. 5. Na obr. č. 5 je pak znázorněn i hlavní závlahový kanál – Balčujskej. Z důvodů sítí a kanálů byla analyzována povodí pouze od pramene po závěrový profil tak, aby zde nebyl průtok antropogenně ovlivněn, jak je tomu na dolním toku řeky. Klimatologická a hydrologická data použitá v této práci byla poskytnuta Institutem vodnych problem a hydroenergetiky v Biškeku.

Tab. č. 1: Umístění stanic použitých pro tuto práci

název stanice	zeměpisná šířka	zeměpisná délka	nadmořská výška	Typ stanice ²	Roky měření (roky s chybějícími daty)
Ala-Arča	42,66°	74,5°	1577 m	hydrologická	1928-2015
Alamedin	42,7°	74,66°	1310 m	hydrologická	1926-2016
Kara-Balta	42,65°	73,9°	1153 m	hydrologická	1927-2015 (1995-2012)
Baitik	42,7°	74,5°	1580 m	meteorologická (T+S)	1915-2016 (T+S)
Biškeek	42,8°	74,6°	756 m	meteorologická (T+S)	1932-2010 (2009) (T+S)
Alplager	42,6°	74,5°	2428 m	meteorologická (T+S)	1979-2010 (T) 1979-2016 (S)
Ala-Arča	42,5°	74,5°	2953 m	meteorologická (S)	1960-1972
Chon Arik	42,7°	74°	1108 m	meteorologická (S)	1936-1989 (1959-1965)
Tuja Ašu	42,4°	73,8°	3225 m	meteorologická (T+S)	1976-2016 (1987-1995) (T) 1960-2016 (1987-1999) (S)

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

² Písmena T (teplota) a S (srážka) určují, jaké meteorologické prvky jsou k dispozici z dané meteorologické stanice



Obr. č. 5: Schéma povodí s rozmístěním meteostanic

Zdroj: vlastní zpracování, Mapa generálního štábu 1:100 000 (1982)

Data odtoku

V případě řeky Ala-Arča byly k dispozici data z let 1928-2015. Jedná se o kontinuální řadu měření. Získaná data obsahují měsíční průtoky, roční průtok, roční objem, specifický odtok, průměrnou výšku hladiny, maxima a minima průtoky vody za sekundu a také datum, kdy tohoto maxima a minima bylo dosaženo. Jediná chybějící data v těchto letech jsou data o maximu a minimu průtoky společně s datem, kdy tohoto průtoky bylo dosaženo, a to z let 1988, 2000, 2004, 2005 a 2013 až 2015. Všechna tato data byla naměřena v závěrovém profilu Kaška-Su. V získaných datech byly v roce 2005 tučně zvýrazněny hodnoty průtoků, což by v tomto případě mělo znamenat, že data byla dopočítána.

Pro řeku Alamedin jsou k dispozici data od roku 1926 do roku 2015. Též jde o kontinuální řadu dat, s tím že roky 2004 a 2006-2007 jsou v datech opět tučně zvýrazněna, což by taktéž mělo znamenat, že data byla dopočtena. Získaná data obsahují měsíční průtoky, roční průtok, roční objem, specifický odtok, průměrnou výšku hladiny, maxima a minima průtoky vody za sekundu a také datum, kdy tohoto maxima a minima bylo dosaženo. Chybějící data o maximu a minimu průtoky chybí v letech 2000, 2004, 2006–2008 a 2013 - 2015. Pouze minima průtoků chybí v letech 1973 a 1974. S tím samozřejmě souvisí i nepřítomnost datumu, kdy těchto maxim a minim bylo dosaženo.

Na rozdíl od předchozích dvou řek, kdy máme k dispozici kontinuální řadu, to je u řeky Kara-Balty složitější, jelikož stanice kontinuálně měřila od roku 1927 až do roku 1994. Poté je její

měření velmi nekompletní. Kompletními roky jsou pak ještě roky 1998, 2001, 2002, 2005 a 2013-2015. Z některých let neexistují žádná data, z některých jen částečná. V roce 1995 stanice měřila od ledna do května, v roce 1996 od června do září, v roce 1997 od ledna do června a poté ještě v měsíci srpnu. V roce 1999 stanice měřila od ledna do června, a ještě v srpnu a září, v roce 2003 měřila stanice od ledna do května a v roce 2012 od května do prosince. V letech 2000, 2004 a 2006-2011 pak neměřila stanice po celý rok. Pro roky 1927 až 2005, ve kterých proběhlo měření po celý rok máme k dispozici stejné informace jako u řek Ala-Arča a Alamedin, tedy: měsíční průtoky, roční průtok, roční objem, specifický odtok, průměrnou výšku hladiny, maxima a minima průtoku vody za sekundu a také datum, kdy tohoto maxima a minima bylo dosaženo (výjimkou je rok 1935, který nemá uvedené minimum průtoku). U zbývajících roků s kompletní řadou, pak nejsou k dispozici informace o minimech a maximech průtoku.

Data srážek a teplot

Pro tuto práci měla autorka k dispozici data o průměrných měsíčních teplotách (T_m) a o měsíčních srážkách (H_m) z Institutu vodných problém a hydroenergetiky, doplněna byla z internetové stránky Monthly Observational Data Map (2017), poskytované NOAA. Data o teplotách a srážkách jsou k dispozici pouze v omezeném množství, a to z toho důvodu, že k datům se není jednoduché dostat, také spousta stanic měřila za dob SSSR a dnes již nefungují. Relevantními stanicemi, ze kterých bylo možno čerpat data jsou stanice Baitik, Biškeek, Alplager, Ala-Arča, Chon Arik a Tuja Ašu. S ostatními stanicemi, které byly k dispozici z Institutu vodných problém nebylo pracováno, a to z důvodu jejich přílišné vzdálenosti od sledovaných povodí. Nacházejí se buď v okolí jezera Issyk-Kul anebo na jižní straně Kyrgyzského hřbetu.

Nejdelší a nejúplnější řada dat byla k dispozici pro stanici Baitik. K dispozici byla data o průměrných měsíčních teplotách a měsíčních srážkách od roku 1915 až do roku 2016. Řada dat je úplná. Stanice se nachází v dolní části zkoumaného povodí řeky Ala-Arči.

Stanice v Biškeku začala měřit v roce 1932 a data z jejího měření jsou k dispozici až do roku 2010, avšak u měsíčních srážek chybí několik měření (říjen 1954, srpen 1956 a září 1959). Tato data byla za pomoci lineární regrese doplněna. Kromě těchto tří měsíců chybí i celý rok 2009, kdy stanice zjevně nefungovala (nejednalo se pouze o měsíční výpadek jako v předchozích případech), jelikož v roce 2009 chybí i data za průměrné roční teploty. Data o průměrných ročních teplotách jsou úplné až na zmiňovaný rok 2009. Data se pro rok 2009 nedoplňovala, jelikož jde o příliš dlouhé období na imputaci dat. Jedná se o stanici, která leží již ve velmi nízké

nadmořské výšce (756 m) a bohužel se již nachází za závěrovým profilem řek Ala-Arča a Alamedin, ale stále v jejich povodí.

V práci Nárožové (2013) jsou vyjmenovány tři základní principy k analýze chybějících hodnot. Jedním z nich je, že dojde k vyloučení všech neúplných záznamů, nebo pak dojde k imputaci dat (doplnění údajů) a použití této řady, anebo dojde ke zpracování neúplných řad speciálními metodami. Při zkoumání jak klimatických, tak hydrologických dat, je většinou potřeba mít celistvé časové řady, aby je bylo možné vyhodnotit. K doplnění dat také dochází například z důvodu malého množství dat (klimatologická měření neprobíhají tak dlouho, abychom si mohli některá data dovolit nevyužít). Avšak tato varianta je možná, byla použita například Rohrem, Killingtveitem (2003), kteří se zabývali rozložením srážek v oblasti Mt. Kilimandžáro. Data měli k dispozici z 21 měřících stanic a z toho důvodu se mohli rozhodnout, že některé stanice nepoužijí.

Hodnoty pro zmíněné chybějící měsíce byly doplněny lineární regresí. Pro dopočet říjnové hodnoty z roku 1954 byly použity naměřené údaje pro měsíc říjen mezi lety 1932-2008 ze stanice Biškek a byly vyneseny do grafu spolu s hodnotami pro měsíc říjen z let 1932-2008 ze stanice Baitik, která je jediná relevantní stanice, která může být pro dopočet dat použita. Následně došlo k proložení grafu lineární spojnicí trendu a na základě vzorce této spojnice byl dopočítán říjen 1954. Stejný postup byl použit pro chybějící zbylé dvě měření pouze s odpovídajícími měsíci – srpen a září. Díky dopočítaným průměrným měsíčním srážkám mohl být vypočten průměrný roční úhrn.

Další stanicí, která se nachází v povodí řeky Ala-Arča je stanice Alplager. U ní byly k dispozici také data průměrných měsíčních teplot a srážek, ale pouze za kratší období. Data srážek jsou k dispozici od srpna 1978 až do prosince 2016, jedná se o úplnou řadu dat, žádná data nebyla dopočítávána. Data průměrných měsíčních teplot jsou také od srpna 1978, ale kontinuální řada je pouze do prosince 2010. V rámci dostupných dat pak byla ještě informace o průměrných ročních srážkách z let 2011 a 2012.

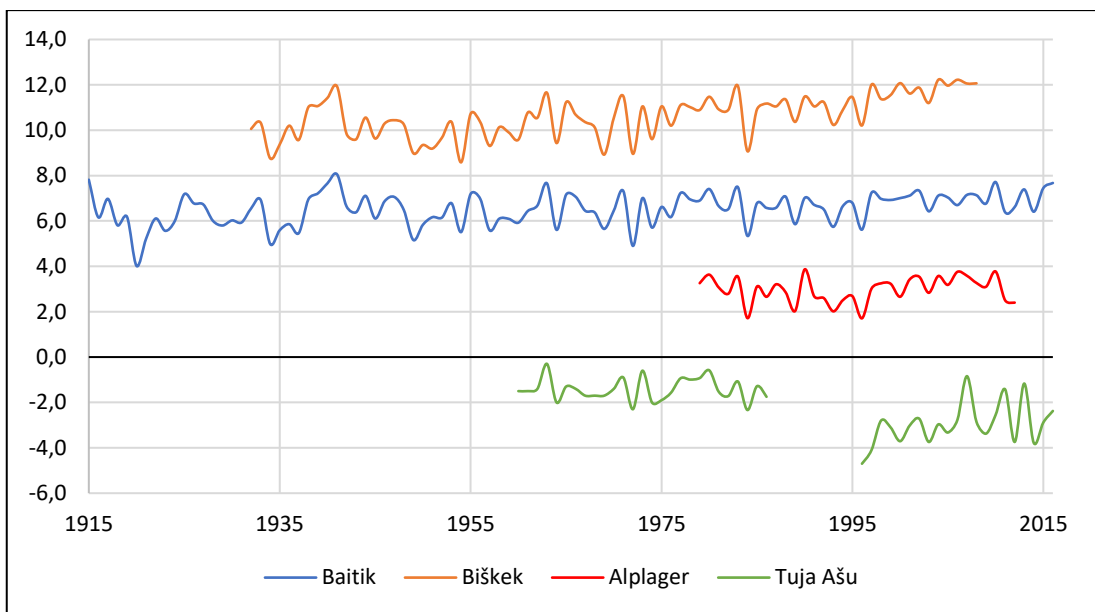
V povodí řeky Ala-Arča se nachází ještě meteorologická stanice Ala-Arča, ze které byly bohužel data jen o srážkách, a to za velmi krátké období. Data obsahovala údaje o srážkách od července 1959 do července 1973.

V povodí řeky Kara-Balta je nejvýše položenou stanicí Tuja Ašu (3225 m n. m.). Průměrné roční teploty byly k dispozici od roku 1960 do roku 2016, s výjimkou let 1987-1995, kdy stanice neměřila. Data o průměrných měsíčních teplotách byly pak k dispozici od ledna 1976 do října

1987 a poté znovu od ledna 1996 do prosince 2016. S daty o srážkách je to na této stanici trochu složitější. Kontinuální řada dat byla k dispozici od ledna 2000 do prosince 2016. Dále byla dostupná data od července 1959 do října 1987, než stanice přestala měřit, ale data z některých let nebyla úplná. Data chyběla v lednu, dubnu, září, listopadu a prosinci roku 1968, v říjnu až prosinci 1972, v březnu v letech 1974 a 1975, poté v říjnu 1977, v dubnu 1985, červnu 1986 a nakonec ještě v dubnu a červenci 1987. Z důvodu velkého množství chybějících dat a odlehlosti stanice, nemohla být data spolehlivě doplněna lineární regresí.

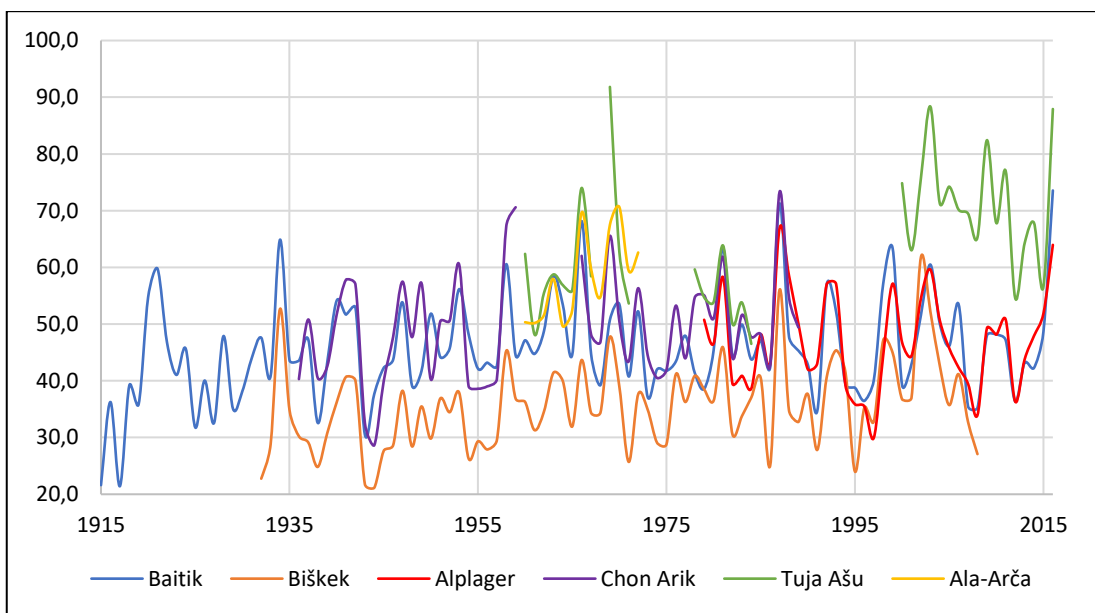
Poslední dostupnou stanicí byla stanice Chon Arik, pro kterou byla dostupná data pouze o měsíčních srážkách. Stanice se nachází východně od povodí řeky Kara-Balty. Data byla k dispozici od ledna 1936 do července 1989, s výjimkou od července 1959 do prosince 1965, kdy stanice neměřila. V rámci této stanice chyběla ještě data z října 1940 a 1977, dále pak z dubna 1985, června 1986 a také z dubna a července roku 1987. V tomto případě tato data byla dopočtena za pomoci lineární regrese jako pro stanici Biškek. I zde byla použita nejbližší stanice s nejvíce podobným chodem srážek – stanice Baitik.

Měřená data a časová období jednotlivých stanic jsou přehledně uspořádaná v grafu č. 1 a 2. V případě teplot (graf č. 1) vidíme, jak se naměřené teploty od sebe liší z důvodu rozdílné nadmořské výšky, ale také zde jsou dobře patrné podobné výkyvy. V případě srážek (graf č. 2) jsou zde také patrné podobné výkyvy srážek, ale není zde vidět tak velký vliv nadmořské výšky a je zde také mnohem větší rozkolísanost než v případě teplot.



Graf č. 1: Průměrné roční teploty na stanicích Baitik, Biškek, Alplager a Tuja Ašu z dostupných let

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



Graf č. 2: Průměrné roční srážky na stanicích Baitik, Biškek, Alplager, Chon Arik, Tuja Ašu a Ala-Arča z dostupných let

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem

3.2 Homogenita

Zkoumání homogenity dat není úplně snadné, v ideálním případě nám velmi pomohou metadata, což jsou informace o stanicích, které by nám měly sdělit například informace o výměně pozorovatelů, přístrojů nebo přesunutí stanice. Ve většině případů jsou ale tyto metadata neúplná. Větší problém také nastává u dat ze vzdálenější minulosti, jelikož jsou hůře dohledatelná (Štěpánek, 2006).

Homogenizace časových řad je tedy důležitou součástí zkoumání dat jak hydrologických, tak meteorologických, jelikož nám prozradí, zda dochází k rozdělení řad do několika výběrů či nikoliv. Užívají se k tomu statistické metody, které se vyvíjely v průběhu let. V současné době existuje velké množství těchto metod i s různými variacemi.

Testování homogenity je určeno především k tomu, abychom dokázali identifikovat a v některých případech i odstranit nehomogenity v řadách dat, které neodrážejí skutečné změny klimatu a jiných přírodních jevů. Nehomogenita je bod změny (takový bod v časové sérii, kdy pozorování mají jinou distribuci před a po tomto bodě) v datové řadě vyvolané změnami podmínek měření na dané stanici. Mezi zdroje nehomogenit patří přemístění či výměna přístroje, změna postupů pozorování nebo změna okolí v místě měření – úprava terénu lidskou činností (Beaulieu a kol., 2009).

Důležité je ale vědět, že existují rozdíly mezi nehomogenní časovou řadou a nestacionární časovou řadou (řada nestacionární, může být zároveň homogenní). Nestacionární řada v tomto případě znamená, že je zde detekován bod změny, který je ale způsoben skutečnými klimatickými změnami (Beaulieu a kol., 2009).

Testování homogenit je možné rozdělit na absolutní metody a relativní. V případě absolutních metod hledáme homogenitu pouze v jedné časové řadě, kdežto při relativních metodách dochází k využití druhé časové řady, která se označuje jako referenční a je homogenní (Štěpánek, 2005).

Většina technik homogenizace byla vyvinuta tak, že hledají jeden bod změny, ale existují i takové, které mohou detekovat více těchto bodů zlomu, u nich však je zvýšené riziko falešné detekce, jelikož se během tohoto dělení pokaždé sníží počet údajů, sníží se tak i detekční síla testu (Beaulieu a kol., 2009).

Jako hlavní testovací statistikou absolutní homogenity v časových řadách byl pro naše účely vybrán Mann-Whitney-Pettit test, pro řady průtoků a srážek a SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) test (Single series) pro data teplot. Tyto testy byly vypočítány v programu

AnClim. Mann-Whitney-Pettit test dokáže kromě určení homogenity dat také určit, kdy dochází ke zlomu v časové řadě, tudíž jej není potřeba znát. SNHT test pak funguje na podobném principu jako Mann-Whitney-Pettit test, ale hodí se více pro data neomezené zespoda nulou, z tohoto důvodu mu byla dána přednost při výpočtu homogenity teplot. V případě, že došlo na základě Mann-Whitney-Pettitova testu k rozdělení pouze jedním zlomem, byl pro určení správnosti výsledků použit Wilcoxonový dvouvýběrový test. U něj byly jednotlivé řady rozděleny do dvou výběrů na základě určení hlavního bodu zlomu z Mann-Whitney-Pettit testu. Tento test byl proveden v RStudiu. Když došlo k rozpadu řady na více částí, byl jako ověřující test použit neparametrický Kruskal-Wallisův test, který na rozdíl od Wilcoxonova dvouvýběrového testu dokáže pracovat s více částmi. Byl také proveden v RStudiu.

K testování relativní homogenity byl použit Alexandersson test, kdy dochází k porovnání testové řady s řadou referenční. Pro řeky Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta byla vytvořena referenční řada z dat srážek ze stanic Baitik, Biškek, Alplager a Chon-Arik za pomoci aritmetického průměru. U řady, která je vypočítána průměrem z několika stanic, lze předpokládat, že takto vytvořená řada bude homogenní. Druhou referenční řadou byla vybrána řada srážek ze stanice Chon-Arik, jelikož na základě Mann-Whitney-Pettit testu vyšla ve všech zkoumaných obdobích homogenní (viz kap. č. 6, tab. č. 15).

Pro všechny testy, ať už absolutní či relativní, byla zvolena hladina významnosti 0,05 a pracovalo se s celými dostupnými řadami, chybějící údaje v některých řadách se zanedbávaly.

Pro názornost byly poté některé měsíce (období), které měly úplné časové řady zobrazeny za pomoci jednoduché součtové čáry v případě absolutní homogenity a podvojně součtové čáry pro relativní homogenitu. Vybrány byly takové řady, aby byla ukázána co největší variabilita v datech.

Stejně metody výpočtu homogenity použil ve své práci také Ledvinka (2006), který prováděl výzkum na stanicích Staré rokly a Chaloupky. Využití Pettitova testu dále najdeme například v práci Mallakpour a Villarini (2016) nebo Ma a kol. (2008), který jej použil při zkoumání ročního odtoku na severozápadě Číny. Zjišťování homogenity teplot za pomoci Alexanderssonova testu nalezneme například v práci Moeberg a Alexandersson (1996), kteří jej použili na teplotní řady Švédska, Dánska, Finska a Norska.

3.3 Trend v časových řadách

Ke zjišťování trendu v datech existuje celá řada statistických analýz. Jednou z nejpoužívanější pro vyhledávání trendu v hydrologických a klimatických datech je Mann-Kendall test. Jedná se o neparametrický test (Burn a Hag Elnur 2002). Tento test lze obecně popsat jako test, který dokáže určit, zda se hodnoty mají tendenci s časem zvyšovat anebo snižovat (Helsel a Frans, 2006). Tento test použil například Ledvinka (2008) a Kliment a kol. (2011) na území České republiky. Hannaford a Buys (2012) jej pro určení trendu odtoku řek v UK. Další využití Mann-Kendalova testu najdeme v pracích Birsan a kol. (2005) nebo Chevallier (2014).

Statisticky významné trendy byly i v našem případě pro řady průtoků, srážek a teplot vyhledávány pomocí zmíněného Mann-Kendalova testu. Zvolená hladina významnosti byla stejně jako u homogenizace 0,05. Trend v časových řadách byl shledán statisticky významný v případě, že signifikance byla pod 0,05. V těchto případech pak byl určován směr trendu na základě testovací statistiky tau (v případě kladné hodnoty se jedná o trend rostoucí, v opačném případě, když je hodnota záporná, tak zde mluvíme o trendu klesajícím). Výpočet Mann-Kendalova testu probíhal v RStudio, kdy zde k jeho výpočtu byl použit doplněk zyp, který byl vytvořen Zhangem a Yue Pilonem. Tato modifikace testu nejprve odhaduje autokorelační funkci, z níž dále bere v úvahu první autokorelační koeficient. Z toho důvodu by bylo vhodné, aby testovaná řada reprezentovala plus/mínus 30 let. Pro naše účely nicméně byl test použit i pro řady s menším počtem let a to především na řece Kara-Baltě (v řadách průtoků), kde byl nalezen zlom nejčastěji v roce 1987, domníváme se tedy, že se nejedná o podezřelý zlom, které se mohou vyskytnout v krajních částech řad a z toho důvodu byl trend počítán i v této kratší časové řadě. Z důvodu krátké časové řady nebyl test použit na řadu srážek ze stanice Ala-Arča, informace o množství srážek máme pouze za dobu 13ti let.

Mann-Kendalův test byl použit pro celé řady, výjimku tvoří řady průtoků, u nich byl trend vyhledáván kromě celých časových řad i v částech časových řad rozdělených na základě homogenizace v prvním bodě. Ostatní zlomy nebyly brány v úvahu, jelikož díky nim došlo k rozdělení řady na velmi krátké časové úseky, na kterých se zvolená metoda nedá provést se správnými výsledky, které by nebyly určitou formou ovlivněny chybou.

3.4 Použité softwary

Většina dat byla zpracována v MS Excel 2010, ve kterém vznikla většina grafů a tabulek. Dalšími programy pak bylo RStudio, ve kterém byla zjišťována homogenita na základě

Wilcoxonova dvouvýběrového testu a také zde byl zjišťován trend pomocí Mann-Kendall testu. K výpočtu Mann-Whitney-Pettit testu a SNHT testu byl použit volně dostupný AnClim Petra Štěpánka.

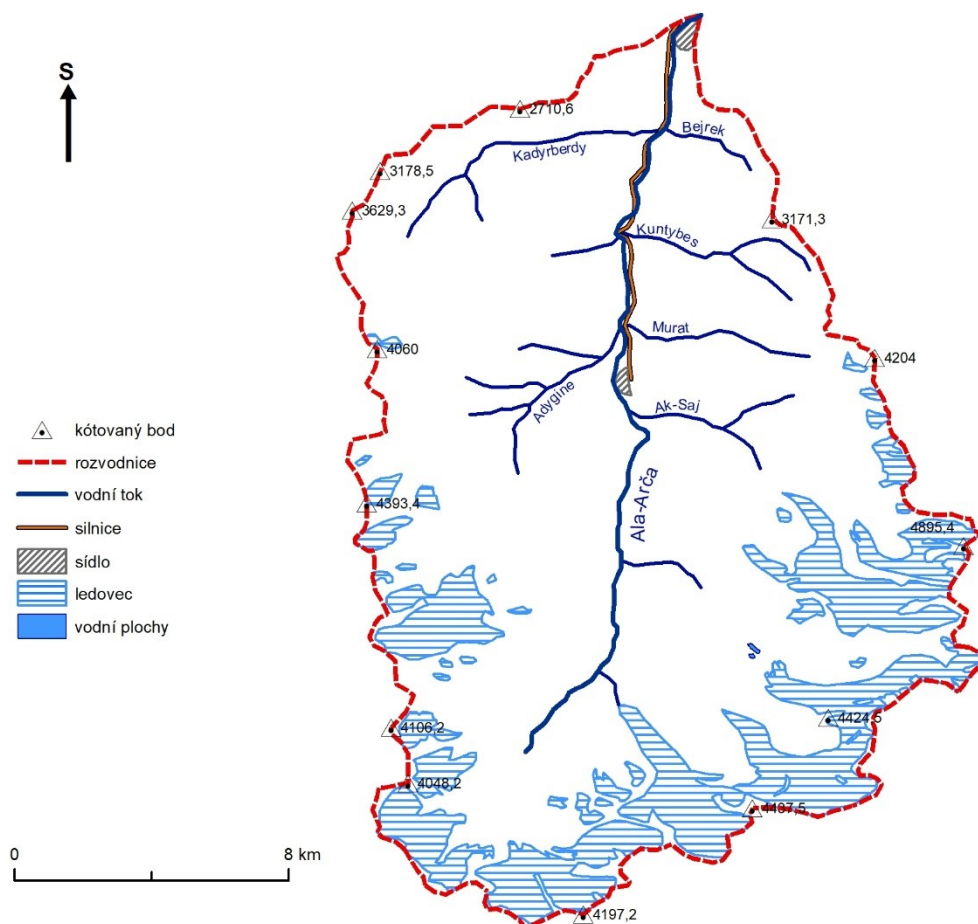
K vytvoření map byly použity podklady Mapy generálního štábu 1:100 000 (1982), které byly vektorizovány a zpracovávány v programu ArcMap 10.5.1.

4. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ NA ZÁKLADĚ DAT O PRŮTOKU

V následující kapitole jsou podrobně popsána a zpracována dostupná data pro zkoumanou oblast. Jsou zde popsány významné roky jak z hlediska maxima, tak i minima. Analýza proběhla na úrovni roků, ročních období a na úrovni měsíců.

4.1 Charakteristika povodí

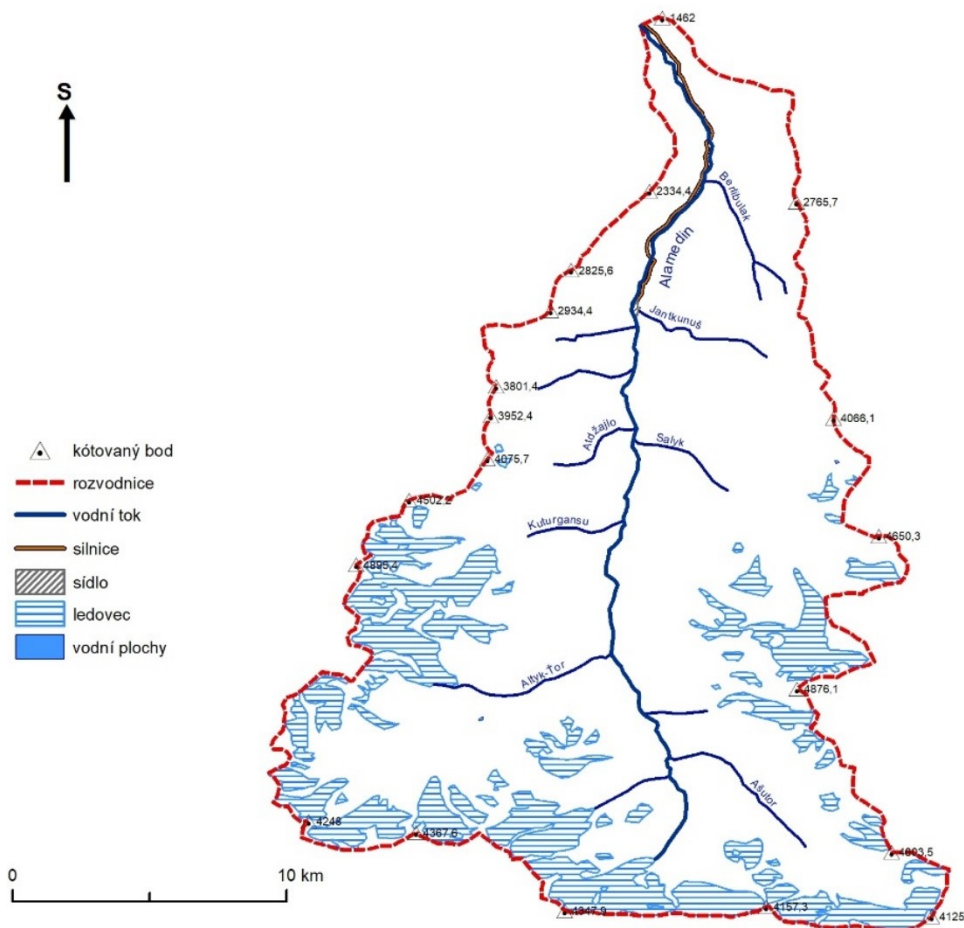
V této práci byly zkoumány tři povodí, a to povodí řek Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta. Povodí řek se nachází na severovýchodě Kyrgyzstánu, přesněji v oblasti Kyrgyzského hřbetu, v pohoří Ťan-Šan. Jedná se o řeky, nacházející se v bezodtoké oblasti Asie (Netopil 1972).



Obr. č. 6: Povodí řeky Ala-Arča po závěrový profil v nadmořské výšce 1577 m

Zdroj: vlastní zpracování, Mapa generálního štábu 1:100 000 (1982)

Řeka Ala-Arča je levostranný přítok řeky Ču, která protéká hlavním městem Kyrgyzstánu – městem Biškek. Na dolním toku je velmi ovlivněna sítí zavlažovacích kanálů. Povodí řeky Ala-Arča (obr. č. 6) je zkoumáno pouze po závěrový profil Kaška-Su, jelikož po tento profil není řeka ovlivněna sítí kanálů, které byly vybudovány na dolním toku. Zalednění povodí se nachází na 16,6 % území.



Obr. č. 7: Povodí řeky Alamedin po závěrový profil v nadmořské výšce 1310 m

Zdroj: vlastní zpracování, Mapa generálního štábu 1:100 000 (1982)

Povodí řeky Alamedin leží východně od řeky Ala-Arča a také protéká hlavním městem Biškekem. I v tomto případě se jedná o levostranný přítok řeky Ču. Z důvodu velkého ovlivnění sítí kanálů na dolním toku, byla i řeka Alamedin zkoumána pouze po závěrový profil. Závěrový profil se nachází nad ústím řeky Čurkunčak. Zkoumané povodí můžeme vidět na obr. č. 7. Procento zalednění plochy povodí Alamedin je 16,7 %.

Tab. č. 2: Základní údaje řeky Ala-Arča

délka řeky po závěrový profil		23,7 km
plocha povodí po závěrový profil		240 km ²
délka rozvodnice	LR	77 km
Gravéliův koeficient	KG	1,4 → protáhlé povodí
charakteristika povodí	α	0,33 → vějířovité povodí
maximální šířka povodí	š	13,4
přímková spojnice pramen a závěrového profilu	d	21,8 km
přímková vzdálenost mezi závěrovým profilem a nejbližším bodem povodí		26,8 km
koeficient křivolakosti	Kk	1,08 → bez většího zakřivení
nejvyšší bod povodí		4895 m
závěrový profil		Kaška-Su
nadmořská výška závěrového profilu		1577 m
nadmořská výška pramene		3080 m
převýšení povodí	Δh	3318 m
sklon povodí	I	214 ‰

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Jedličková (2016), Mapa generálního štábu 1:100 000 (1982)

Pramenná oblast řeky Alamedin leží ve výšce 3280 m n.m. Délka řeky, se kterou jsme v této práci počítali, je 33 km, tato vzdálenost je pouze po závěrový profil, který se nachází při ústí řeky Čurkunčak. Tento závěrový profil se nachází v nadmořské výšce 1310 m. Za závěrovým profilem protéká řeka hlavním městem Biškek. I řeka Alamedin má ledovco-sněhový režim. Souhrnné informace o řece Alamedin jsou v tab. č. 3.

Řeka Alamedin má několik významných přítoků. Jako příklad můžeme zmínit levostranné přítoky Altyk-Ťor, Kuturgnsu a Atdžaljo, z pravostranných přítoků jsou to například Ašutor, Salyk, Jantkunuš anebo Berlibulak.

Tab. č. 3: Základní údaje řeky Alamedin

délka řeky po závěrový profil		33 km
plocha povodí		313 km ²
délka rozvodnice	LR	97,9 km
Gravéliův koeficient	KG	1,56
charakteristika povodí	α	0,28 → vějířovité povodí
maximální šířka povodí	š	16,0 km
přímková spojnice pramen a závěrového profilu	d	30,4 km
přímková vzdálenost mezi závěrovým profilem a nejbližším bodem povodí		33,7 km
koeficient křivolakosti	Kk	1,09 → bez většího zakřivení
závěrový profil		ústí řeky Čurkunčak
nadmořská výška závěrového profilu		1310 m n.m.
nadmořská výška pramene		3280 m
převýšení povodí	Δh	3585 m
sklon povodí	I	202,6 ‰

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Jedličková (2016), Mapa generálního štábu 1:100 000 (1982)

V tab. č. 4 nalezneme základní informace o řece Kara-Balta, která je ze sledovaných částí řek, řekou nejdelší. Po závěrový profil je dlouhá 40,4 km. Kara-Balta vzniká spojením více pramenů v nadmořské výšce 2380 m a nejdelší pramen leží ve výšce 3440 m n. m. Výška závěrového profilu, který se nachází v obci Sosnovka, je 1153 m n.m. Kara-Balta se nevlévá do řeky Ču, ale do řeky Aksu, je jejím levostranným přítokem. I přes to patří do povodí řeky Ču, jelikož řeka Aksu je jejím přítokem. Jelikož se v povodí nachází jen malé zbytky ledovců, tak má tato řeka již sněhovo-ledovcový režim.

Řeka Kara-Balta, má celou řadu přítoků jak levostranných, tak pravostranných. Mezi nejdelší levostranné přítoky můžeme zařadit řeky Čok-Mazar, Turuk a nejseverněji ležící přítok Uzon-Bulak. Mezi pravostranné přítoky pak patří řeky Bjuljotju, Batia a Jesen-Saj.

Tab. č. 4: Základní údaje řeky Kara-Balta

délka řeky po závěrový profil		40,4 km
plocha povodí		579 km ²
délka rozvodnice	LR	124 km
Gravéliův koeficient	KG	1,45 → protáhlé povodí
charakteristika povodí	α	0,33 → vějířovité povodí
maximální šířka povodí	š	24,9 km
přímková spojnice pramen a závěrového profilu	d	33,7 km
přímková vzdálenost mezi závěrovým profilem a nejbližším bodem povodí		42 km
koeficient křivolakosti	Kk	1,2
závěrový profil		obec Sosnovka
nadmořská výška závěrového profilu		1153 m
nadmořská výška pramene		2380 m (3440 m)
převýšení povodí	Δh	3216 m
sklon povodí	I	133 ‰

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Jedličková (2016), Mapa generálního štábu 1:100 000 (1982)

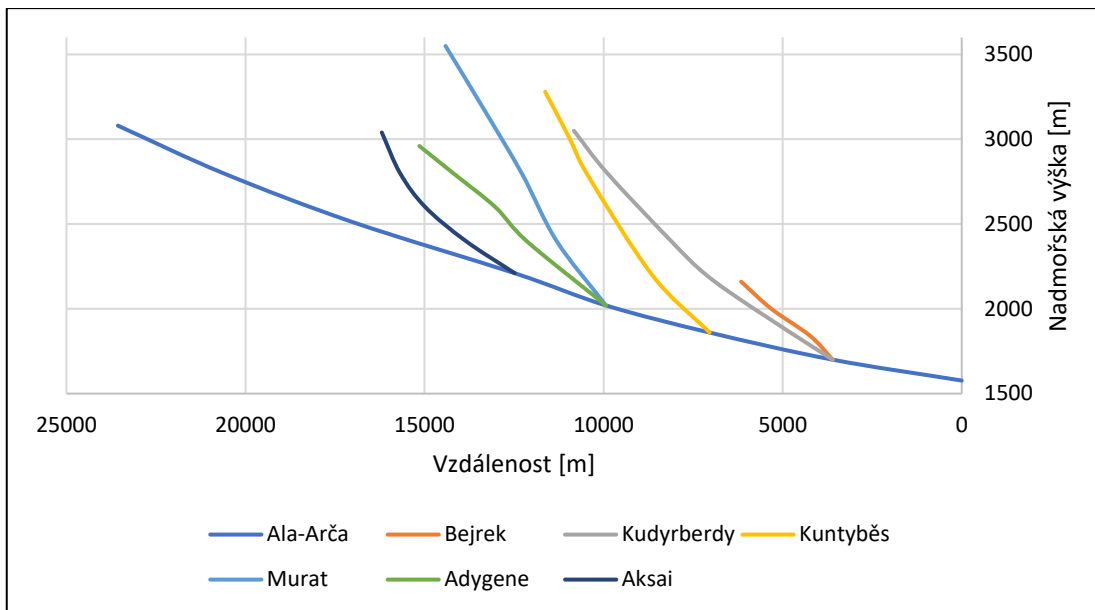
Výpočet většiny údajů z tab. č. 2-3, najdeme vypočítané v práci Jedličková (2016).

Na základě měření vzdáleností z Mapy generálního štábu 1:100 000 (1982), byly vytvořeny podélné profily pro všechny tři řeky, společně s jejich vybranými přítoky (graf č. 3-5). Podélné profily jsou významně zjednodušeny.

Všechny tři řeky mají poměrně velký spád a jejich přítoky je mají ještě větší. V případě řeky Ala-Arči leží pramen ve výšce 3080 m n.m. a závěrový profil ve výšce 1577 m n.m., tudíž rozdíl mezi těmito dvěma body je 1503 m. Pokles je přibližně v celé délce řeky podobný. Dva z vybraných přítoků Murat a Kuntubės dokonce pramení ve vyšší výšce než sama řeka Ala-Arča.

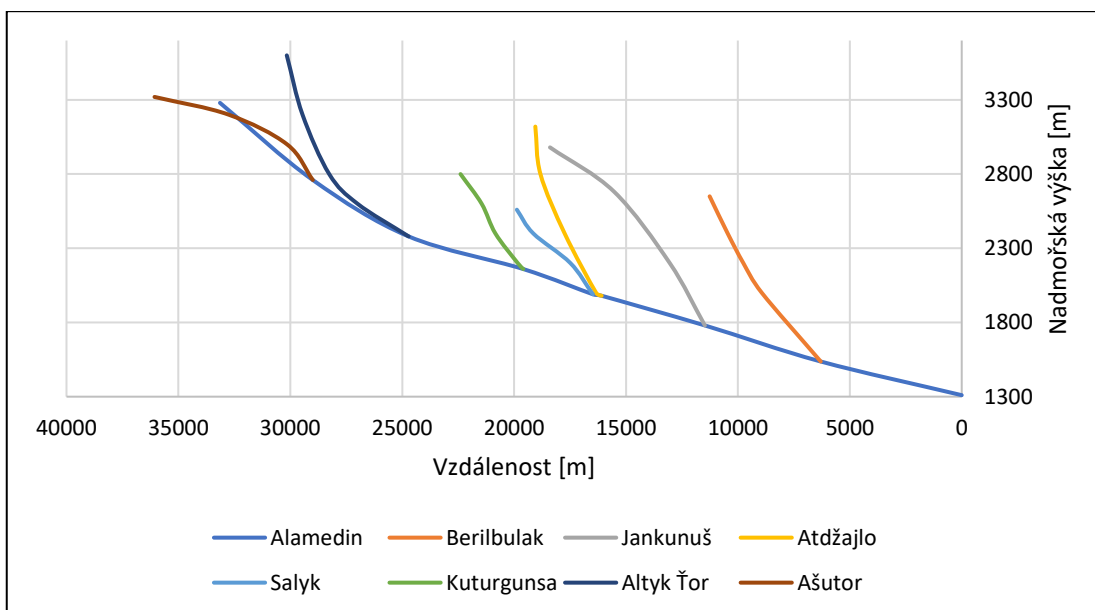
Řeka Alamedin pramení v nadmořské výšce 3280 m a závěrový profil leží ve výšce 1310 m. Rozdíl tedy mezi pramenem a závěrovým profilem je 1970 m. Po 2500 m n.m. je sklon povodí příkřejší, poté dochází ke zmenšení sklonu a dále je celou dobu více méně konstantní.

Řeka Kara-Balta se stéká ze dvou pramenů, proto je její vznik pouze v nadmořské výšce 2380 m. Závěrový profil leží ve výšce 1153 m n.m. Oproti svým přítokům nemá řeka Kara-Balta takový sklon.



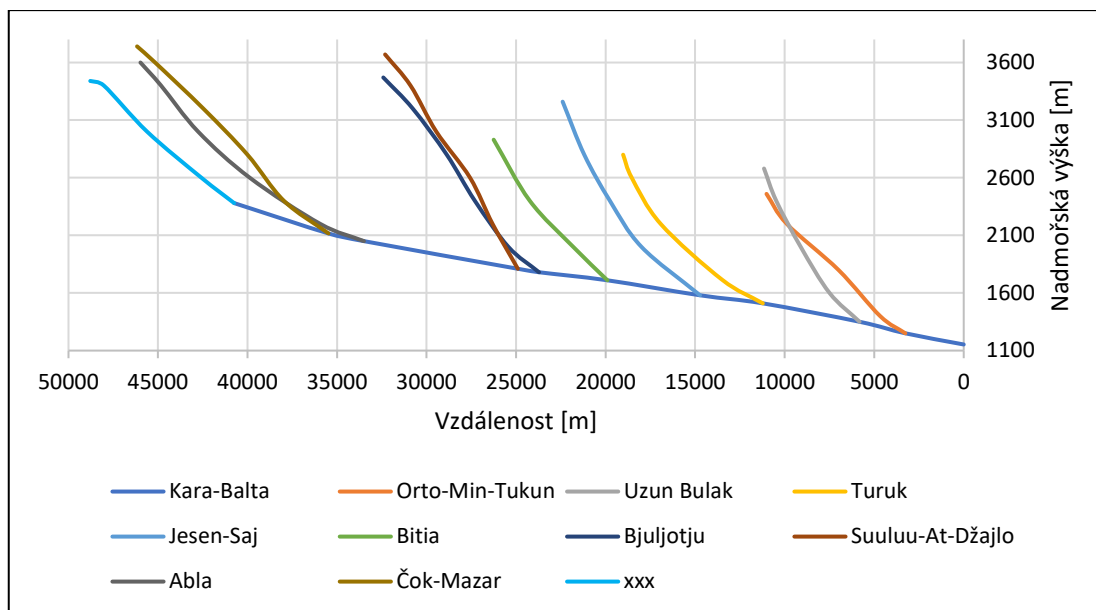
Graf č. 3: Podélný profil řeky Ala-Arči a jejich vybraných přítoků

Zdroj: vlastní zpracování, Mapa generálního štábu 1:100 000 (1982)



Graf č. 4: Podélný profil řeky Alamedin a jejich vybraných přítoků

Zdroj: vlastní zpracování, Mapa generálního štábu 1:100 000 (1982)



Graf č. 5: Podélný profil řeky Kara-Balta a jejích vybraných přítoků

Zdroj: vlastní zpracování, Mapa generálního štábu 1:100 000 (1982)

4.2 Odtokové poměry

Pro představu velikosti průtoku řeky Ala-Arči můžeme uvést dlouhodobý průměrný roční průtok, který je $4,67 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejčastěji se vyskytující roční průtok, tzv. modus je $4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ a roční medián je $4,56 \text{ m}^3/\text{s}$. Průměrný roční objem odtoku je 147 mil. m^3 . Výška hladiny se pohybuje okolo 653 mm. Z dostupných hodnot byl také vypočítán průměrný specifický odtok, který je $20,02 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$.

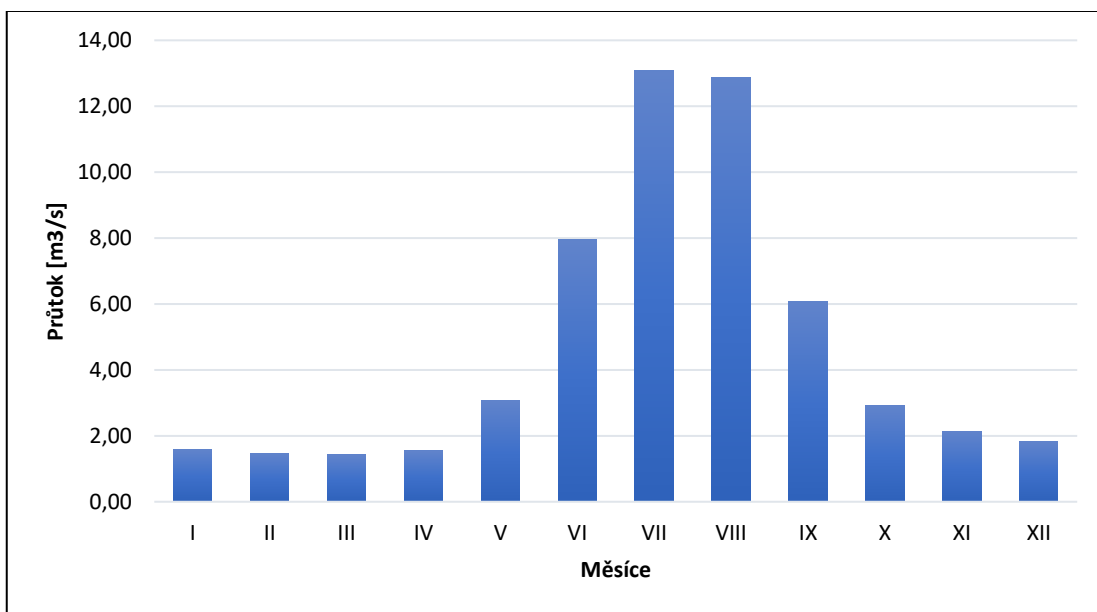
U řeky Alamedin je dlouhodobý roční průměr $6,58 \text{ m}^3/\text{s}$. Hodnota modusu je v tomto případě $6,66 \text{ m}^3/\text{s}$. Normální průtok (=medián) má hodnotu $6,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Průměrný roční objem byl vypočítán na 216,97 mil. m^3 . Průměrná roční hladina řeky Alamedin má výšku 684,4 mm. Hodnota průměrného specifického odtoku je $21,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Z hlediska dlouhodobého ročního průtoku se řeka Kara-Balta nachází mezi zbylými řekami. Hodnota jejího dlouhodobého průměrného průtoku je $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejčastěji se vyskytující průtok má hodnotu $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ a mediánová hodnota je $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Během roku zde průměrně odtéká 167 mil. m^3 vody. Specifický odtok je pro řeku Kara-Baltu $9,2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$. Průměrná výška hladiny je 290 mm v místě závěrového profilu.

V rámci dostupných dat můžeme sledovat dlouhodobé měsíční průtoky, které nám přiblíží rozložení velikosti odtoků během roku. Z grafů č. 6 a č. 7 je zřejmé, že nejdominantnějšími měsíci pro odtok jak pro řeku Ala-Arču, tak pro řeku Alamedin jsou měsíce červenec a srpen a poté s větším odstupem červen a září. Řeka Ala-Arča má pak v ostatních měsících odtok velmi

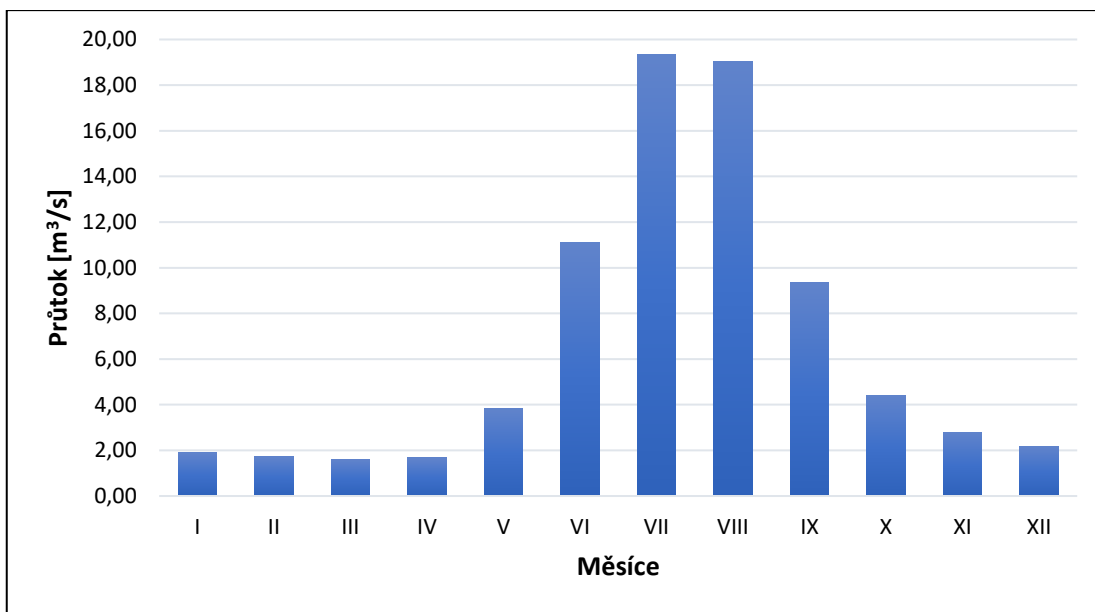
nízký, kromě května ($3,08 \text{ m}^3/\text{s}$) nepřevyšující $3 \text{ m}^3/\text{s}$. U řeky Alamedin je pak odtok nižší než $4 \text{ m}^3/\text{s}$, s výjimkou měsíce října, kdy je dlouhodobý měsíční odtok $4,42 \text{ m}^3/\text{s}$.

I pro řeku Kara-Baltu můžeme sledovat trend dlouhodobých měsíčních průtoků (graf č. 8), který je ale odlišný než u řek Ala-Arča a Alamedin, jelikož řeka Kara-Balta má sněhovo-ledovcový režim. Nejdominantnějším měsícem je stále měsíc červenec, ale druhým je již měsíc červen, který je následován s větším odstupem měsícem srpnem. Od listopadu do dubna pak hodnota dlouhodobého průtoku nepřesahuje $3 \text{ m}^3/\text{s}$.



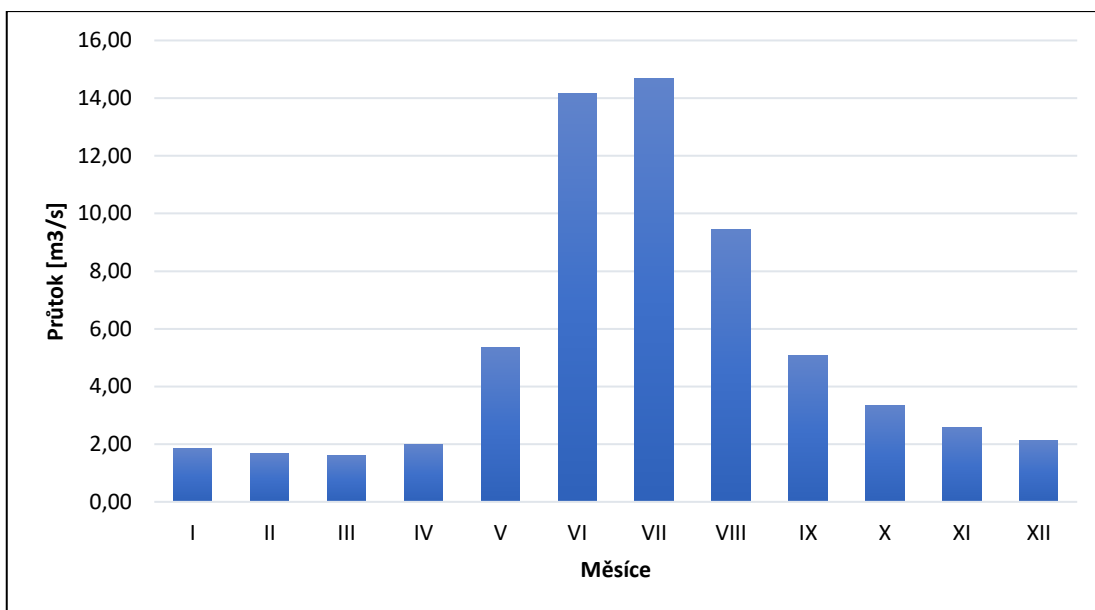
Graf č. 6: Dlouhodobé měsíční průtoky Q_m z období 1928-2015 v povodí Ala-Arča

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem



Graf č. 7: Dlouhodobé měsíční průtoky Q_m z období 1926-2015 v povodí Alamedin

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem



Graf č. 8: Dlouhodobé měsíční průtoky Q_m z období 1927-2015³ v povodí Kara-Balta

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem

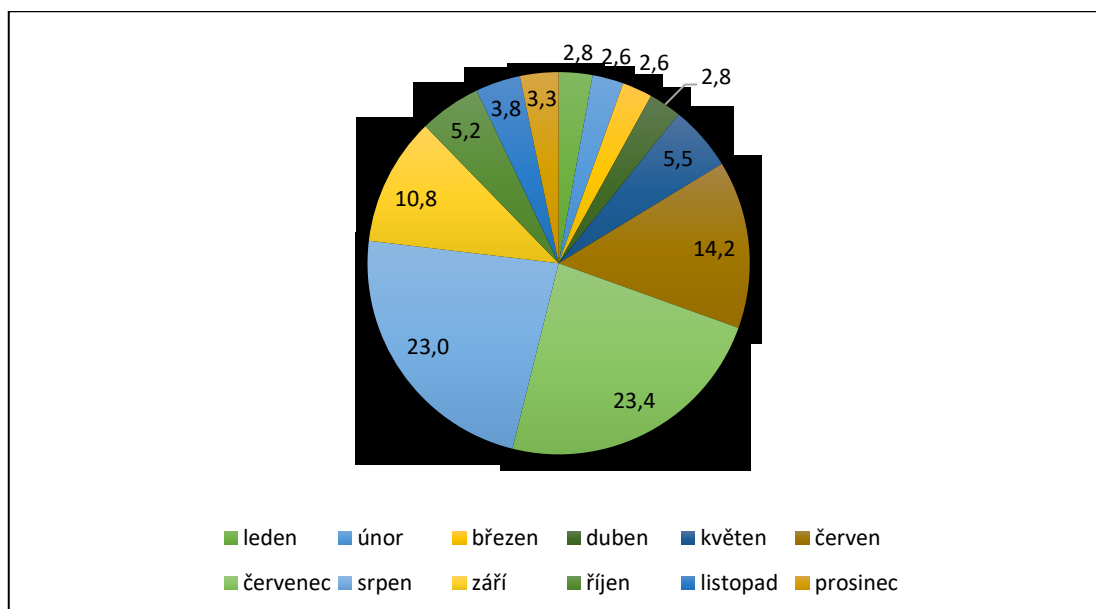
Z hlediska procentuálního odtoku odteče na řece Ala-Arča v červenci 23,4 % veškeré vody, podobné procento je i v srpnu – 23 %. V červnu (třetí měsíc s nejvyšším odtokem) odteče

³ Graf byl vypočten ze všech dostupných dat, tedy i z dat let, které nejsou úplné

pouze 14,2 %. Na tom je dobře patrná dominance letních měsíců, jelikož celkový odtok v nich je 60,6 %. Podzim se na odtoku podílí z 19,9 %, jaro z 10,8 % a nejmenší podíl odtoku je v zimě – 8,7 %. Tyto údaje můžeme odečíst z grafů č. 9 a č. 10. Jelikož se jedná o řeku s režimem ledovco-sněhovým, jejíž odtok je napájen především z odtátého sněhu a ledovce, tak je výše odtoku ovlivněna intenzitou slunečního záření.

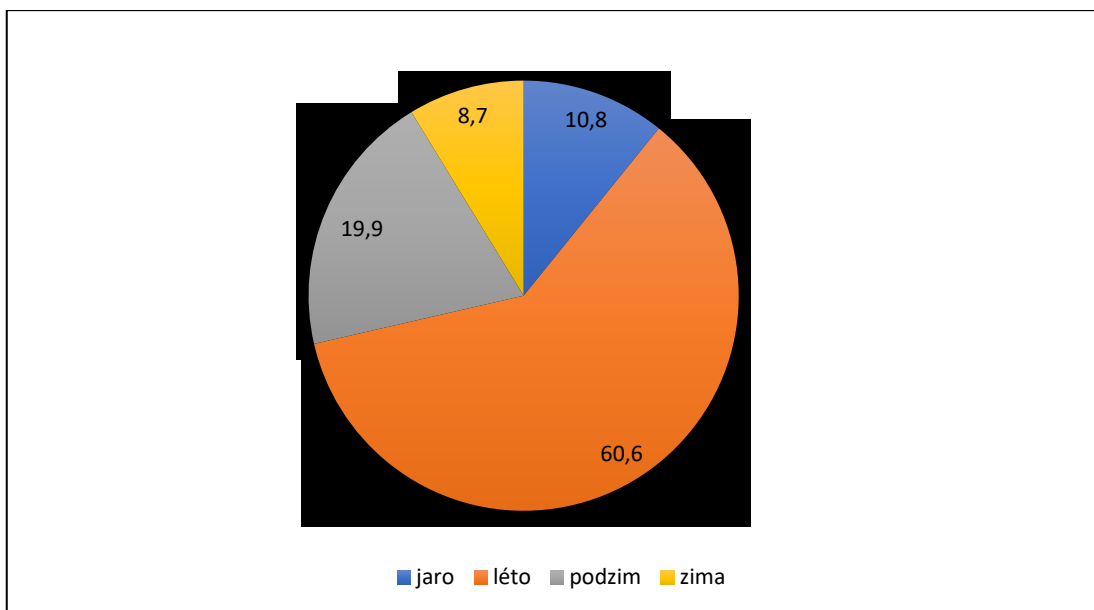
Na základě koeficientu K_r můžeme vyjádřit míru nevyrovnanosti/vyrovnanosti ročního odtoku. Ten vypočítáme podle vzorce: $\frac{\sum |p_i - 8,3|}{8,3}$, kde p_i je procentuální podíl Q_m . Pro řeku vychází hodnota 9,2, která vypovídá, že se jedná o nevyrovnaný odtok. Když by byla hodnota nulová, jednalo by se o ideálně vyrovnaný režim, naopak kdyby hodnota koeficientu byla 22, byl by to režim maximálně nevyrovnaný.

Nejextrémnější měsíční průtoky pro řeku Ala-Arču byly zjištěny v srpnu a červenci. Absolutně nejvyšší měsíční průměr byl změřen v červenci 2015, kdy jeho hodnota byla 23,1 m³/s. Druhý a třetí nejvyšší průměr byl zaznamenán v srpnu v letech 1984 a 1983, kdy jeho hodnota byla 21,5 m³/s, respektive 21,2 m³/s. Naopak nejmenší měsíční průtoky nedosahují ani 1 m³/s. Ten úplně nejmenší byl zaznamenán v lednu 1969, kdy jeho hodnota byla 0,89 m³/s. O pět desetin více – 0,94 byl zaznamenán měsíční průtok v dubnu 1962. Třetím nejmenším měsíčním průtokem pak je ten z března 1984, velikost průtoku byla 0,96 m³/s. Pod zmiňovaný 1 m³/s byl naměřen průtok ještě v únoru 1933, jeho hodnota byla 0,98 m³/s.



Graf č. 9: Procentuální měsíční rozložení odtoku za období 1928-2015 v povodí Ala-Arča

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem



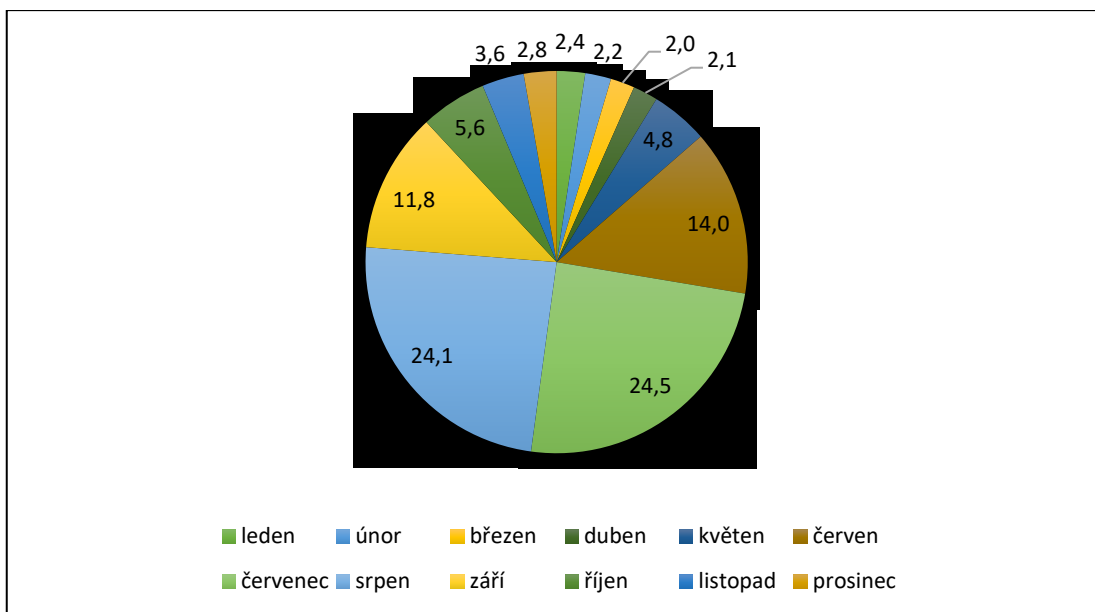
Graf č. 10: Procentuální rozložení odtoku v jednotlivých ročních obdobích z let 1928-2015 v povodí Ala-Arča

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem

Na řece Alamedin odteče během července a srpna ještě o něco málo dominantněji vody než na řece Ala-Arča. Když to vyjádříme procentuálně, odteče během těchto dvou měsíců 24,5 %, respektive 24,1 % vody. S velkým odstupem je pak červen se 14 % z celkového odtoku. To je jasně patrné na grafu č. 11. V těchto třech měsících tedy odteče celkově 62,7 % vody. Jak vidíme na grafu č. 12. V druhém nejvodnějším období, kterým je podzim, pak odteče 21 % vody. V zimě, respektive na jaře, odteče pouze 7,4 % respektive 9,0 % vody.

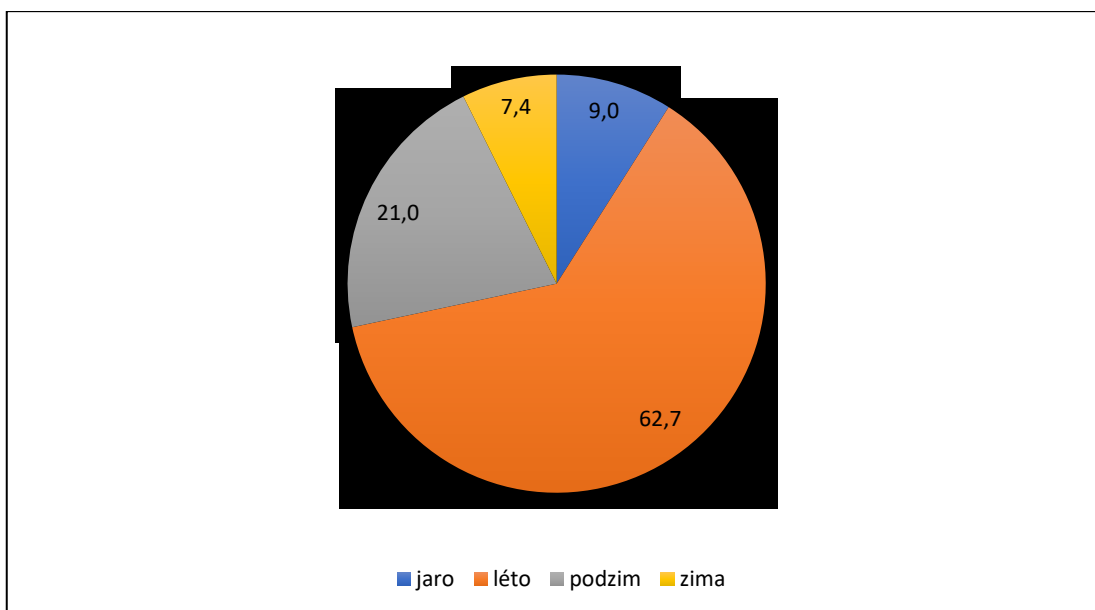
Míra nevyrovnanosti/vyrovnanosti ročního odtoku byla vypočítána podle stejného vzorce jako u řeky Ala-Arča (viz. výše). Hodnota tohoto koeficientu je pro řeku Alamedin rovna 9,9. Hodnota 9,9 nám tedy vypovídá o nevyrovnanosti odtoku.

Pro řeku Alamedin najdeme všechny nejvyšší naměřené měsíční průtoky v měsíci červenci. Tím nejvyšším měsíčním průtokem, je průtok 27,9 m³/s, který byl naměřen v červenci 1942. Druhý nejextrémnější měsíční průtok z července 1973 měl hodnotu 26,5 m³/s. Pouze o čtyři desetiny menší – 26,1 m³/s, byl naměřen průtok v červenci 1930. Dva absolutně nejmenší měsíční průtoky byly naměřeny rok po sobě. Ten absolutně nejmenší s hodnotou 0,88 m³/s, byl naměřen v dubnu 1940. O rok dříve v měsíci dubnu byl naměřen průtok 0,93 m³/s. Třetím nejmenším měsíčním průtokem je ten, který byl zjištěn v listopadu 1932 a jeho hodnota byla 0,96 m³/s. Pod 1 m³/s byl naměřen ještě jeden měsíční průtok, jeho hodnota byla 0,97 m³/s a byl zjištěn v březnu 1976.



Graf č. 11: Procentuální měsíční rozložení odtoku za období 1926-2012 v povodí Alamedin

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem



Graf č. 12: Procentuální rozložení odtoku v jednotlivých ročních obdobích z let 1926-2015 v povodí Alamedin

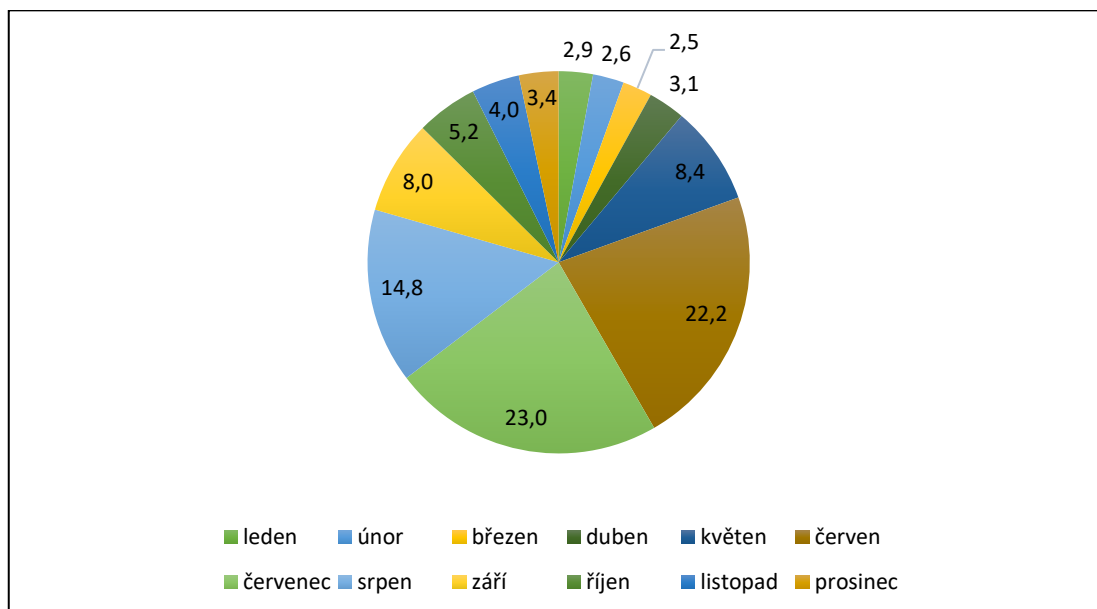
Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem

Na řece Kara-Baltě nejvíce vody odteče taktěž v červenci – 23 % vody, následovaný je ale měsícem červen, během kterého odteče 22,2 % vody. Třetím nejdominantnějším měsícem,

avšak již se značně menším zastoupením, je srpen se 14,8 % vody z celkového odtoku. Podíl ostatních měsíců na odtoku pak vidíme na graf č. 13. I přes jiné rozložení odtoku do měsíců, se v rámci ročních období řeka Kara-Balta od ostatních dvou řek významněji neliší. Nejdominantnějším obdobím je léto s 60 % z celkového odtoku. Následován je s velkým odstupem opět podzimem se 17,2 %. Na jaře poté odeče o něco více vody než u předchozích řek a to konkrétněji 14 %. V zimě pak je to pouhých 8,9 % (graf č. 14).

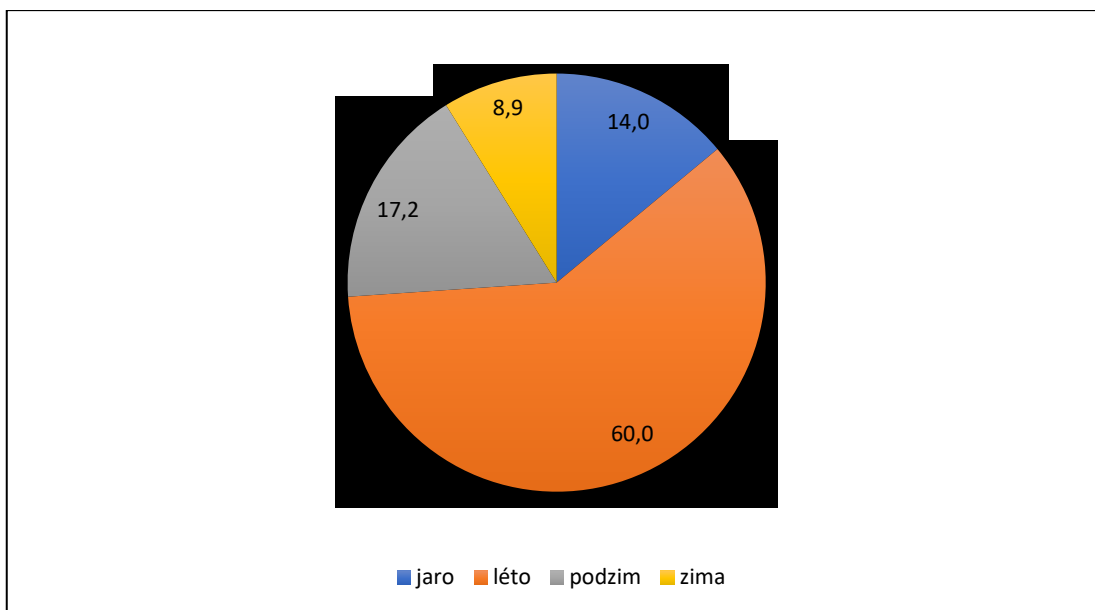
I řeka Kara-Balta je řekou s nevyrovnaným odtokem. Koeficient K_r byl vypočítán na 8,4. Na základě toho můžeme říci, že v porovnání s ostatními dvěma řekami, je Kara-Balta nejvyrovnanější, i když ten rozdíl není tak velký.

Nejvyšší naměřené měsíční průtoky na řece Kara-Balta byly zaznamenány v červnu, třetí nejvyšší pak v červenci. Tím absolutně nejvyšším naměřeným měsíčním průtokem, byl průtok z června 1988, jehož hodnota byla 26,4 m³/s. Druhý nejvyšší měsíční průtok byl zaznamenán v červnu 2002 a jeho hodnota byla 24,9 m³/s. V červenci 1987 pak byl zjištěn průměrný měsíční průtok s hodnotou 24,0 m³/s. Absolutně tři nejmenší průtoky byly všechny zaznamenány v měsíci březnu. Tím úplně nejmenším průměrným měsíčním průtokem z roku 1979, byl průtok o velikosti 1,04 m³/s. V roce 1956 byl naměřen měsíční průtok o velikosti 1,07 m³/s. Třetím nejmenším měsíčním průtokem a pouze o dvě desetiny vyšší než druhý nejmenší, byl průtok z roku 1982, jeho hodnota byla 1,09 m³/s.



Graf č. 13: Procentuální měsíční rozložení odtoku za období 1927-2015 v povodí Kara-Balta

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem



Graf č. 14: Procentuální rozložení odtoku v jednotlivých ročních obdobích z let 1927-2015 v povodí Kara-Balta

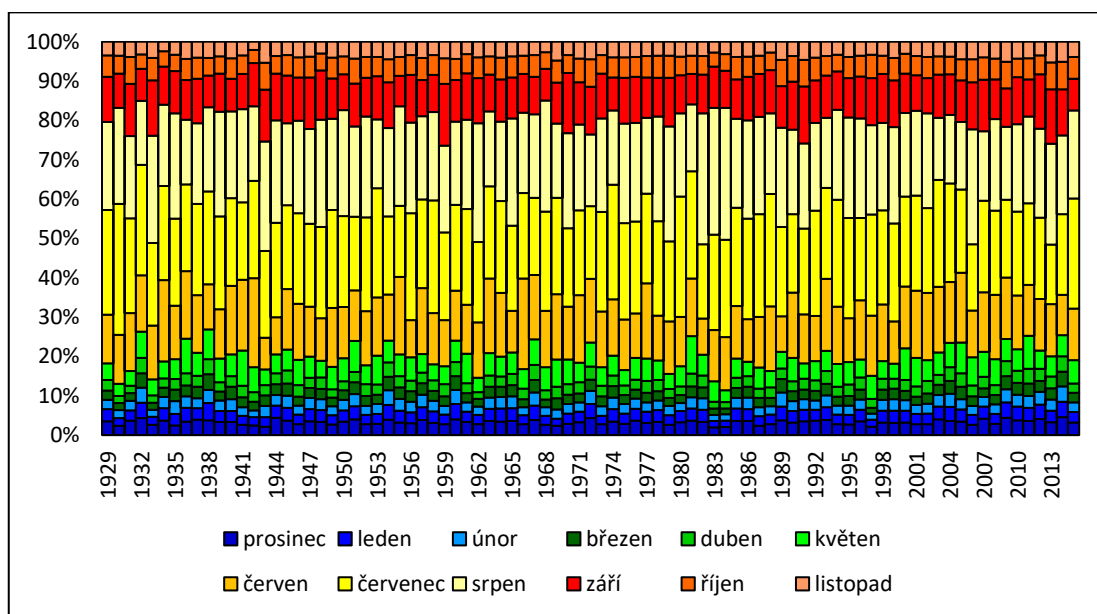
Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem

Grafy č. 15-17 nám ukazují změny sezónního rozložení odtoku řek Ala-Arča, Alamedin a Karabalta⁴ ve všech letech, pro která jsou dostupná data. Vidíme zde procentuálního rozložení Q_m na Q_r . Opět je zde vidět dominance léta a výrazná minima v zimě u všech řek.

V případě řeky Ala-Arči (graf č. 15) byla nejvýznamnější zimou, zima v roce 2014, kdy během ní byl průtok zastoupen 12,4 % v daném roce. V procentuálním zastoupením bylo nejvýznamnějším jarem, jaro v roce 1981, během něhož byl průměrný průtok 15,5 %. V letním období byl nejvýznamnější rok 1984, kdy během tohoto léta byl průtok zastoupen neuvěřitelnými 71,9 %. Co se týče podzimu, tak nejvýznamnějším byl ten v roce 1959, kdy byl průtok vody 26,4 %. Naopak minimálních hodnot v zimě v rámci procentuálního zastoupení průtoku, byla zima v roce 1983, kdy zastoupení průtoku bylo pouze 5,1 % vody v tomto daném roce. Když v roce 1984 bylo letní maximum, tak mu předcházelo jarní minimum, kdy během jara byl průtok zastoupen pouze 6,1 %. Přestože se jedná o letní minimum, i tak odtékla více než polovina veškeré vody v tomto roce. Letní minimum bylo dosaženo v roce 2014, během něhož byl průtok zastoupen 50,9 % v rámci tohoto roku. A nejméně zastoupeným podzimem, pak byl podzim v roce 1968, kdy byl průtok zastoupen pouze 14,9 %.

⁴ U řeky Kara-Balty bylo v tomto případě pracováno jen s kontinuální řadou

To, že některé období bylo v rámci sezónního rozložení nejvýznamnější nebo naopak nejméně významné, tak to ještě neznamená, že zde byl v tomto roce během zkoumaného období naměřen nejvyšší průměrný průtok v daném ročním období. Pro řeku Ala-Arču byly maximální průtoky naměřeny v posledních letech. Nejvyšší průměrný průtok v zimě byl naměřen v roce 2012 a jeho hodnota je 2,72 m³/s. Na jaře byl nejvyšší průměrný průtok zaznamenán o rok dříve, tedy v roce 2011 a jeho hodnota je 3,85 m³/s. Absolutně nejvyšší průměrný průtok za roční období byl naměřen v létě 2015, kdy jeho hodnota byla 17,43 m³/s. V rámci podzimu byl ve sledovaném období naměřen nejvyšší průměrný průtok v roce 2013 s hodnotou 5,99 m³/s. Naopak nejmenší průměrné průtoky za roční období najdeme spíše ve starších letech. V roce 1938 byla naměřena minima za léto a podzim, v těchto obdobích byla průměrná hodnota průtoku 7,07 m³/s v létě a 2,08 m³/s na podzim. V zimě byl zaznamenán nejmenší průměrný průtok v roce 1969, jeho hodnota byla 1,06 m³/s. Na jaře v roce 1984 byla naměřena průměrná hodnota průtoku 1,30 m³/s, je to jediné období, které se shoduje i se sezónním rozložením.



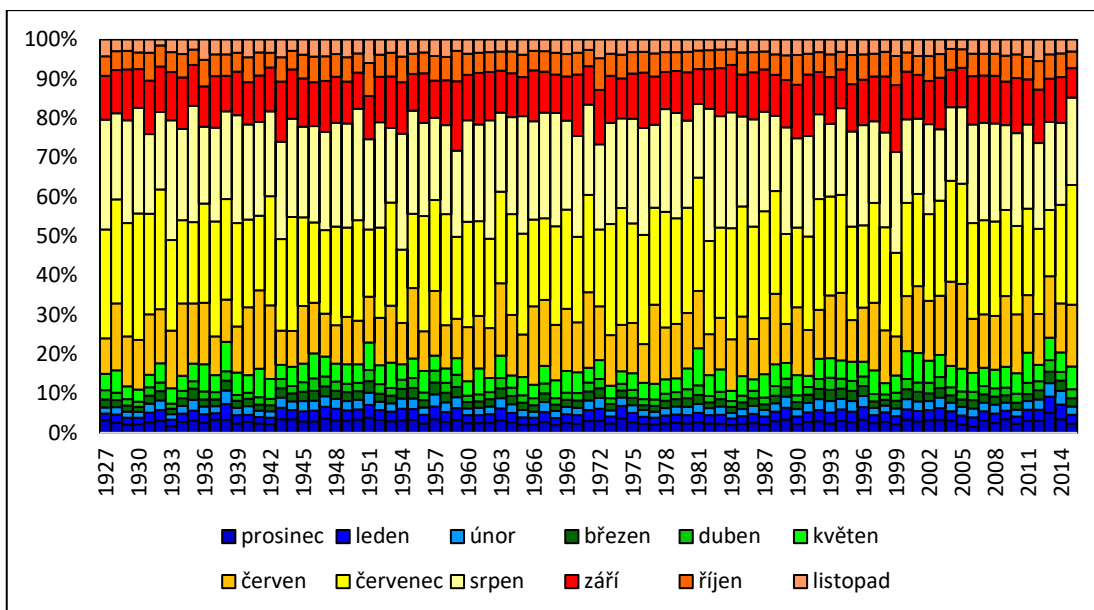
Graf č. 15: Změny sezónního rozložení průtoku řeky Ala-Arča v letech 1929-2015

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem

U řeky Alamedin (graf č. 16) byla z hlediska velikosti průtoku nejvíce zastoupena zima s 12,6 % v roce 2013. Nejvýznamnějším jarem v jednotlivých letech, bylo jaro v roce 1981, kdy hodnota průtoku byla po přepočtení na procenta rovna 14,2 %. V roce 1930 významně dominovalo léto, kdy procentuální vyjádření průtoku v tomto roce dosáhlo 71,5 %. Z hlediska sezónního rozložení byl v rámci podzimu nejvýznamnější podzim z roku 1999 s 28,6 %. Naopak

nejméně významnou zimou z hlediska rozložení průtoku byla ta v roce 1932 se 4,8 %. Minimální hodnoty pro jaro bylo dosaženo v roce 1984, kdy bylo procentuální zastoupení v tomto daném roce 5,6 %. I pro řeku Alamedin, stejně jako pro řeku Ala-Arču, byla minimální hodnota sezónního rozložení v létě vyšší než 50 %, dokonce to bylo ještě o procento více než u řeky Ala-Arči, přesněji 51,7 %. Tato hodnota připadá na rok 1951. Nejméně významným podzimem pak byl ten poslední ze sledovaného období, tedy z roku 2015, s hodnotou 14,8 %.

V případě řeky Alamedin, když se podíváme na absolutní hodnoty průtoků v rámci jednotlivých období, shodují se nám s relativními hodnotami o něco více, než u řeky Ala-Arči, která měla shodu pouze v podzimním minimu. Zimní maximální průměrný průtok byl naměřen v roce 2013, kdy jeho hodnota byla 3,88 m³/s. Jarní maximum pro jaro bylo naměřeno v roce 1981 a hodnota průtoku je podobná zimnímu maximu - 3,95 m³/s. Těchto dvou maxim bylo dosaženo ve stejný rok jako v případě sezónního rozložení. Nejvyšší průměrný průtok za léto byl naměřen v roce 1942 a jeho hodnota byla 22,80 m³/s. Pro období podzimu byla zaznamenána nejvyšší průměrná hodnota průtoku v roce 1959, jeho hodnota byla 9,03 m³/s. Třetinovou hodnotu průtoku oproti maximu má zimní minimum, které bylo naměřeno v roce 1965 a jeho hodnota byla 1,18 m³/s. O rok dříve, v roce 1964 bylo naměřeno jarní minimum – 1,47 m³/s. V létě byl průměrný průtok nejmenší v roce 1951, kdy jeho hodnota byla 10,49 m³/s. I toto minimum se shoduje se sezónním rozložením, kterého bylo dosaženo ve stejném roce. Na podzim roku 1938 připadá nejmenší průměrný průtok pro toto období, jeho hodnota byla 3,34 m³/s.



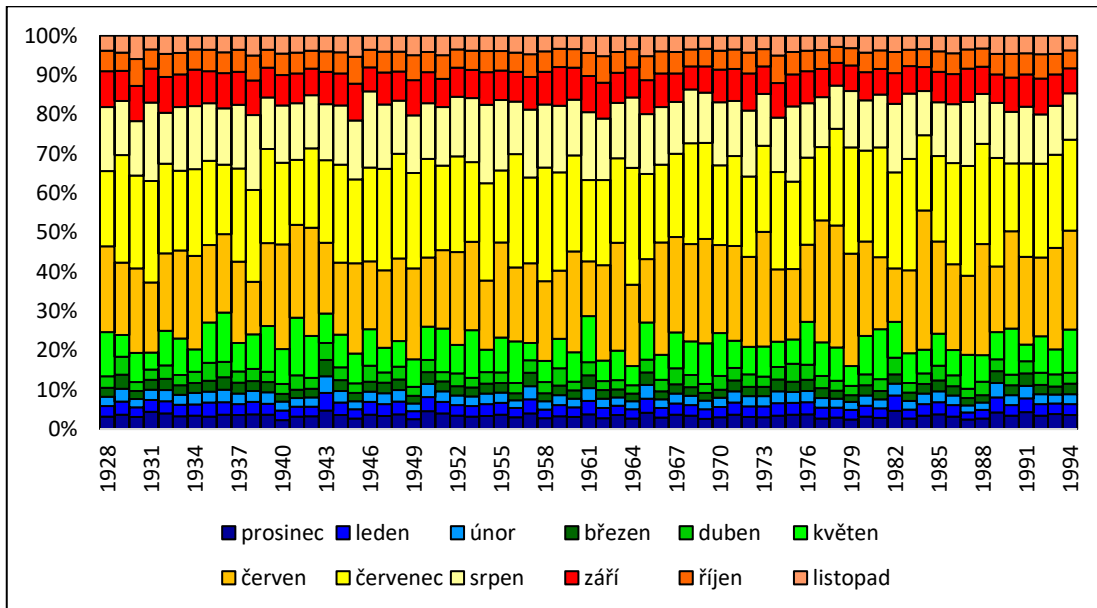
Graf č. 16: Změny sezónního rozložení průtoku řeky Alamedin v letech 1927-2015

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem

Na grafu č. 17 vidíme sezónní rozložení pro řeku Kara-Baltu. Procentuálně nejvýznamnější zimou je zima z roku 1943, která je zastoupena 13,4 %. Co se týče jara, tak to se na celkovém odtoku podílelo nejvíce v roce 1941, kdy v tomto roce odteklo 20,4 % vody. V létě byl procentuální průtok v jednom roce největší v roce 1979, kdy zaujal 69,9 % z celkového. Pro období podzimu byl v rámci sezónního rozložení nejvýznamnější podzim roku 1930 s 21,7 %. Pro rok 1987 byl nejméně významný průtok pro zimní období, který byl v tomto roce zastoupen pouze 6 %. Na jaře byl z procentuálního hlediska nejméně významný rok 1964, který měl 9 %. O tři roky dříve bylo zaznamenáno nejméně významné letní období, v tomto roce bylo zastoupeno pouze 51,9 %. Na podzim bylo nejméně významné zastoupení průtoku v roce 1978, jeho hodnota byla 12,7 %.

Když si přiblížíme absolutní čísla, největší průměrný průtok byl pro zimní období na řece Kara-Balta naměřen v roce 1931, kdy jeho hodnota byla 2,52 m³/s. Stejně jako relativní hodnota, tak i absolutní byla zjištěna pro maximum v roce 1941 pro jarní měsíce, kdy průměrný průtok byl 4,66 m³/s. Nejvyšší letní průměrný průtok byl zjištěn v roce 1988, jeho hodnota byla 20,70 m³/s. Na podzim v roce 1949 byl vypočítán průměrný průtok na 5,02 m³/s, což je z všech podzimních období nejvíce. Jak již bylo napsáno výše, tak v rámci sezónního rozložení byl pro léto nejvýznamnější rok 1979, v absolutních číslech byla v tomto roce vypočítána nejmenší hodnota průtoku jak pro zimu, tak i pro jaro. Hodnota průměrného průtoku byla 1,35 m³/s, respektive

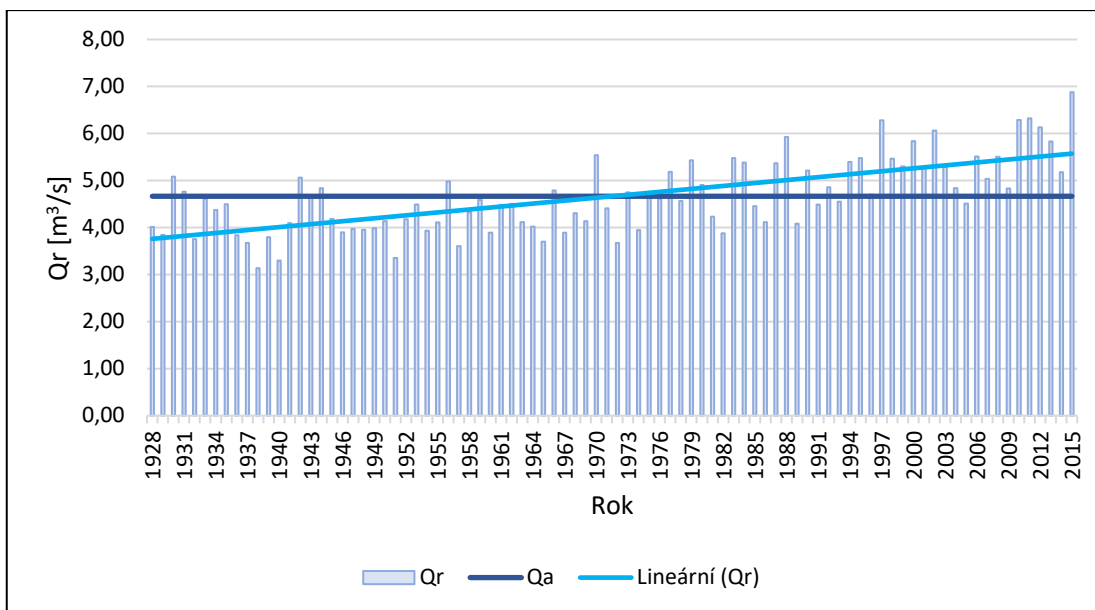
1,79 m³/s. Letní průměrné minimum průtoku bylo zjištěno v roce 1976 a jeho hodnota byla 8,27 m³/s. V zimě byl nejmenší průtok naměřen v roce 1978 a jeho hodnota byla 12,7 m³/s.



Graf č. 17: Změny sezónního rozložení průtoku řeky Kara-Balta v letech 1928-1994

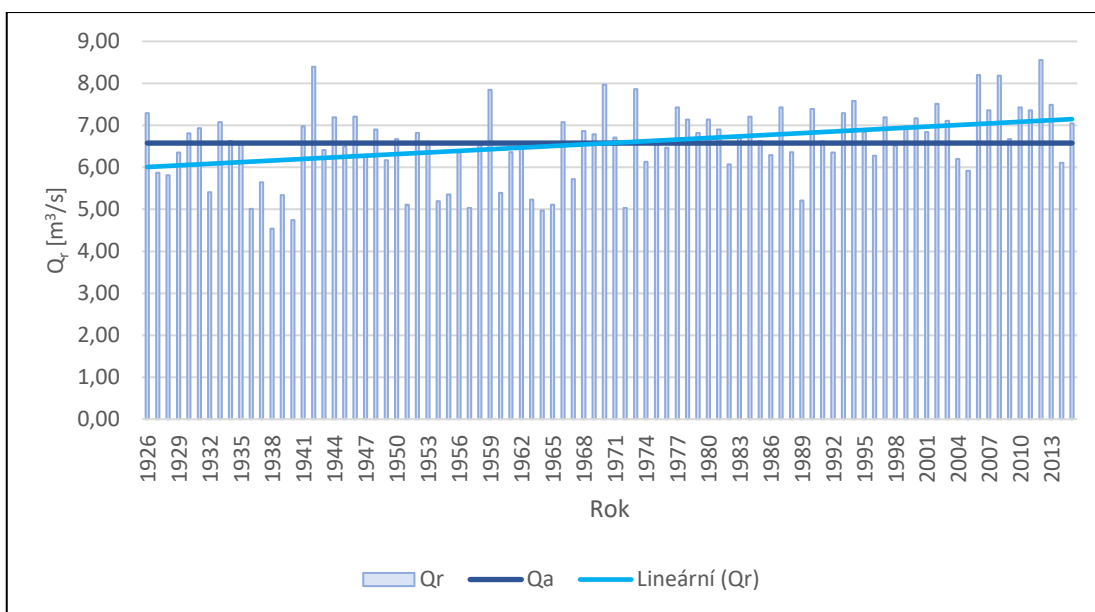
Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem

Změnu odtoku můžeme graficky vyjádřit grafem ročních průtoků v jednotlivých letech. Na základě grafu č. 18, který nám zobrazuje roční průtoky v letech 1928-2015 pro řeku Ala-Arču, je patrné, že dochází ke zvyšujícímu se množství odtoku vody za rok. Dobře je to viditelné při pohledu na lineární trend, kdy přímka má stoupající tendenci. Pro řeku Ala-Arču je hodnota Q_a (dlouhodobý průměrný odtok) rovna 4,67 m³/s. I jenom pohled na množství let s vyšším průtokem, než je dlouhodobý roční průtok Q_a nám napovídá, že dochází k zvyšování průtoku v posledních letech. Naposledy v roce 2005 byl průtok nižší než dlouhodobý roční průtok.



Graf č. 18: Roční průtoky v letech 1928-2015 řeky Ala-Arča

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem



Graf č. 19: Roční průtoky v letech 1928-2015 řeky Alamedin

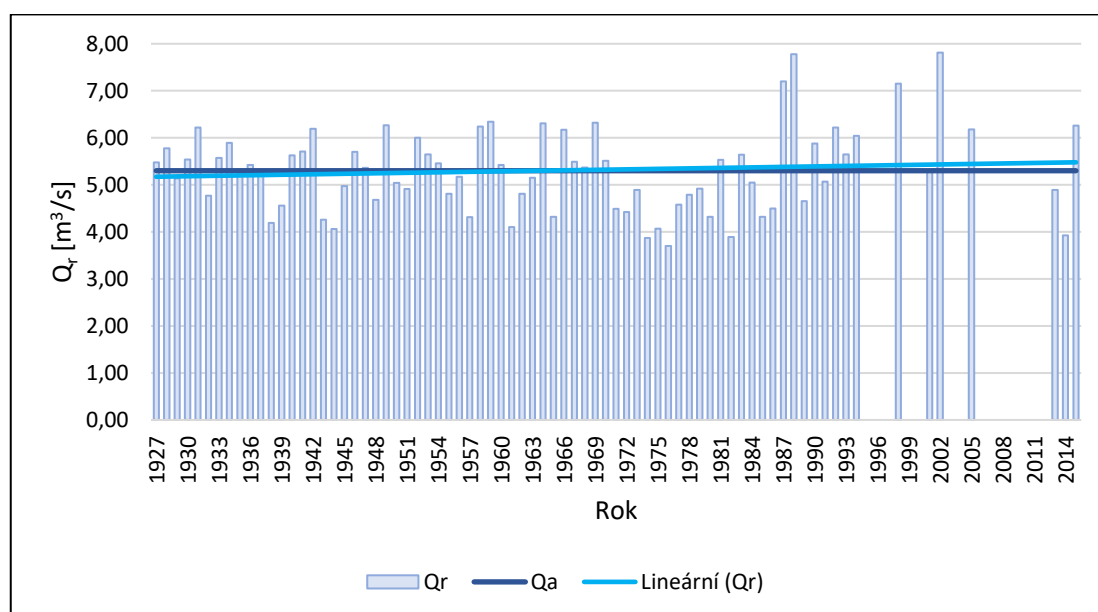
Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem

Na grafu č. 19, který nám ukazuje roční průtoky pro řeku Alamedin, je také dobře vidět postupný nárůst průtoků, i když není tak markantní jako u řeky Ala-Arča. Dlouhodobý roční

průtok je pro řeku Alamedin vypočítán na 6,58 m³/s. Podprůměrnými roky v posledních letech jsou roky 2014, 2005 a 2004.

U řeky Kara-Balty (graf č. 20) není nárůst odtoku nikterak velký, i když musíme říci, že tam nějaký je. Graf nám také dobře znázorňuje množství chybějících dat, který nám může výsledek významně ovlivnit. Dlouhodobý roční průměr Qa byl pro řeku Kara-Baltu vypočítán na hodnotu 5,30 m³/s.

Jelikož vycházíme z toho, že na území řeky Ala-Arči se nachází největší počet ledovců a v povodí řeky Kara-Balta nejméně, pak lze říci, že tomu odpovídá i lineární trend.



Graf č. 20: Roční průtoky v letech 1927-2015 řeky Kara-Balta

Zdroj: vlastní, Institut vodných problem

K posouzení míry vodnosti v jednotlivých letech, můžeme roky rozdělit na základě pravděpodobnosti překročení Qr na mimořádně vodné, vodné, průměrně vodné, málo vodné a mimořádně málo vodné. Při výpočtu pravděpodobnosti překročení Qr musíme nejprve jednotlivé roky seřadit podle velikosti průtoku od největšího po nejmenší, a poté je vypočítat na základě vzorce: $p = \frac{\text{pořadí} - 0,3}{\text{celkový počet sledovaných let} + 0,4} * 100$. Do jednotlivých kategorií byli roky roztříděny podle následujících kritérií:

Typ roku	p [%]
mimořádně vodný	0-10
vodný	10,1-40
průměrně vodný	40,1-60
málo vodný	60,1-90
mimořádně málo vodný	90,1-100

Pravděpodobnost překročení Q_r pro řeky Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta můžeme vidět v tab. č. 5 - 7. Roky jsou v ní seřazeny podle odtoku od největšího po nejmenší. Kromě toho, každý rok má slovní označení, o jaký typ roku se jedná.

Pro řeku Ala-Arču byly nejvodnějšími roky 2015, 2011 a 2010, kdy v roce 2015 byl průměrný průtok $6,88 \text{ m}^3/\text{s}$. V roce 2011 a 2010 byla hodnota průměrného průtoku rovna $6,32 \text{ m}^3/\text{s}$ respektive $6,30 \text{ m}^3/\text{s}$. Naopak nejméně vodným je rok 1938. V tomto roce průměrný roční průtok dosahoval hodnoty $3,13 \text{ m}^3/\text{s}$, což je o více než polovinu méně než v roce nejvodnějším.

U řeky Alamedin byl nejvodnější rok 2012, kdy hodnota Q_r byla $8,56 \text{ m}^3/\text{s}$. Dalším rokem v pořadí byl rok 1942, který má průměrnou roční hodnotu odtoku rovnou $8,40 \text{ m}^3/\text{s}$. O dvě desetiny méně, tedy $8,20 \text{ m}^3/\text{s}$ má pak rok 2006. Při pohledu na druhou stranu tabulky nám vyplývá, že nejméně vodným rokem byl rok 1938, kdy odtok Q_r byl $4,54 \text{ m}^3/\text{s}$, který je o necelou polovinu menší než rok nejvodnější. Pod $5 \text{ m}^3/\text{s}$ mají ještě roky 1940 a 1964.

Rok 2002 byl významným rokem na řece Kara-Balta, jelikož zde byl nejvyšší průtok ve sledovaném období. Jeho hodnota byla $7,81 \text{ m}^3/\text{s}$. Druhým nejvodnějším rokem byl rok 1988, kdy průměrná roční hodnota průtoku byla $7,78 \text{ m}^3/\text{s}$. O rok dříve v roce 1987, byl pak průměrný roční průtok $7,20 \text{ m}^3/\text{s}$ (třetí nejvyšší). Naopak nejméně vodným byl rok 1976, kdy hodnota průtoku byla $3,70 \text{ m}^3/\text{s}$. V tomto případě hodnota nejmenšího průtoku nedosahuje ani poloviny průtoku nejvyššího. Těsně pod hodnotou $4 \text{ m}^3/\text{s}$ byl průměrný roční průtok zjištěn ještě v letech 1974, 1982 a 2014.

Tab. č. 5: Pravděpodobnost překročení Q_r v letech 1928-2015 řeky Ala-Arča

Pořadí	Rok	Q_r [m ³ /s]	p[%]	Typ roku
1	2015	6,88	0,8	mimořádně vodný
2	2011	6,32	1,9	mimořádně vodný
3	2010	6,30	3,1	mimořádně vodný
4	1997	6,28	4,2	mimořádně vodný
5	2012	6,13	5,3	mimořádně vodný
6	2002	6,06	6,4	mimořádně vodný
7	1988	5,93	7,6	mimořádně vodný
8	2013	5,83	8,7	mimořádně vodný
9	2000	5,83	9,8	mimořádně vodný
10	1970	5,54	11,0	vodný
11	2006	5,51	12,1	vodný
12	2008	5,50	13,2	vodný
13	1983	5,48	14,4	vodný
14	1995	5,47	15,5	vodný
15	1998	5,47	16,6	vodný
16	1979	5,43	17,8	vodný
17	1994	5,40	18,9	vodný
18	2004	5,40	20,0	vodný
19	1987	5,37	21,2	vodný
20	1999	5,30	22,3	vodný
21	2001	5,30	23,4	vodný
22	1984	5,29	24,5	vodný
23	2003	5,29	25,7	vodný
24	1990	5,22	26,8	vodný
25	1977	5,18	27,9	vodný
26	2014	5,18	29,1	vodný
27	1930	5,09	30,2	vodný
28	1942	5,06	31,3	vodný
29	2007	5,03	32,5	vodný
30	1956	4,98	33,6	vodný
31	1980	4,91	34,7	vodný
32	1992	4,86	35,9	vodný
33	1944	4,84	37,0	vodný
34	2009	4,83	38,1	vodný
35	1966	4,79	39,3	vodný
36	1931	4,76	40,4	průměrně vodný
37	1973	4,75	41,5	průměrně vodný
38	1996	4,70	42,6	průměrně vodný
39	1975	4,69	43,8	průměrně vodný
40	1943	4,65	44,9	průměrně vodný
41	1933	4,62	46,0	průměrně vodný
42	1976	4,62	47,2	průměrně vodný
43	1959	4,59	48,3	průměrně vodný
44	1978	4,56	49,4	průměrně vodný
45	1993	4,55	50,6	průměrně vodný
46	1935	4,50	51,7	průměrně vodný
47	1962	4,50	52,8	průměrně vodný
48	1953	4,49	54,0	průměrně vodný
49	1961	4,49	55,1	průměrně vodný
50	1991	4,49	56,2	průměrně vodný
51	1985	4,45	57,4	průměrně vodný
52	1971	4,41	58,5	průměrně vodný
53	1934	4,37	59,6	průměrně vodný
54	1958	4,33	60,7	málo vodný
55	1968	4,31	61,9	málo vodný
56	1981	4,23	63,0	málo vodný
57	2005	4,21	64,1	málo vodný
58	1945	4,18	65,3	málo vodný
59	1952	4,17	66,4	málo vodný
60	1950	4,14	67,5	málo vodný
61	1969	4,14	68,7	málo vodný
62	1963	4,12	69,8	málo vodný
63	1955	4,11	70,9	málo vodný
64	1986	4,11	72,1	málo vodný
65	1941	4,10	73,2	málo vodný
66	1989	4,09	74,3	málo vodný
67	1964	4,02	75,5	málo vodný
68	1928	4,01	76,6	málo vodný
69	1949	3,99	77,7	málo vodný
70	1947	3,97	78,8	málo vodný
71	1948	3,95	80,0	málo vodný
72	1974	3,94	81,1	málo vodný
73	1954	3,93	82,2	málo vodný
74	1946	3,90	83,4	málo vodný
75	1960	3,89	84,5	málo vodný
76	1967	3,89	85,6	málo vodný
77	1982	3,87	86,8	málo vodný
78	1929	3,84	87,9	málo vodný
79	1936	3,83	89,0	málo vodný
80	1939	3,80	90,2	mimořádně málo vodný
81	1932	3,76	91,3	mimořádně málo vodný
82	1965	3,70	92,4	mimořádně málo vodný
83	1937	3,67	93,6	mimořádně málo vodný
84	1972	3,67	94,7	mimořádně málo vodný
85	1957	3,61	95,8	mimořádně málo vodný
86	1951	3,35	96,9	mimořádně málo vodný
87	1940	3,30	98,1	mimořádně málo vodný
88	1938	3,13	99,2	mimořádně málo vodný

Zdroj: vlastní, Institut vodnych problem

Tab. č. 6: Pravděpodobnost překročení Q_r v letech 1926-2015 řeky Alamedin

Pořadí	Rok	Q_r [m ³ /s]	p[%]	Typ roku
1	2012	8,56	0,8	mimořádně vodný
2	1942	8,40	1,9	mimořádně vodný
3	2006	8,20	3,0	mimořádně vodný
4	2008	8,18	4,1	mimořádně vodný
5	1970	7,97	5,2	mimořádně vodný
6	1973	7,86	6,3	mimořádně vodný
7	1959	7,85	7,4	mimořádně vodný
8	1994	7,58	8,5	mimořádně vodný
9	2002	7,51	9,6	mimořádně vodný
10	2013	7,49	10,7	vodný
11	1977	7,43	11,8	vodný
12	1987	7,43	12,9	vodný
13	2010	7,43	14,0	vodný
14	1990	7,39	15,2	vodný
15	2007	7,36	16,3	vodný
16	2011	7,36	17,4	vodný
17	1926	7,29	18,5	vodný
18	1993	7,29	19,6	vodný
19	1946	7,21	20,7	vodný
20	1984	7,21	21,8	vodný
21	1944	7,19	22,9	vodný
22	1997	7,19	24,0	vodný
23	2000	7,17	25,1	vodný
24	1978	7,14	26,2	vodný
25	1980	7,14	27,3	vodný
26	2003	7,11	28,4	vodný
27	1933	7,08	29,5	vodný
28	1966	7,08	30,6	vodný
29	2015	7,04	31,7	vodný
30	1941	6,98	32,9	vodný
31	1999	6,98	34,0	vodný
32	1931	6,93	35,1	vodný
33	1948	6,90	36,2	vodný
34	1981	6,90	37,3	vodný
35	1968	6,86	38,4	vodný
36	1995	6,84	39,5	vodný
37	2001	6,84	40,6	průměrně vodný
38	1952	6,82	41,7	průměrně vodný
39	1979	6,82	42,8	průměrně vodný
40	1930	6,81	43,9	průměrně vodný
41	1969	6,79	45,0	průměrně vodný
42	1983	6,74	46,1	průměrně vodný
43	1971	6,71	47,2	průměrně vodný
44	1950	6,67	48,3	průměrně vodný
45	2009	6,67	49,4	průměrně vodný
46	1975	6,66	50,6	průměrně vodný
47	1934	6,63	51,7	průměrně vodný
48	1985	6,63	52,8	průměrně vodný
49	1991	6,62	53,9	průměrně vodný
50	1953	6,61	55,0	průměrně vodný
51	1935	6,60	56,1	průměrně vodný
52	1958	6,59	57,2	průměrně vodný
53	1998	6,51	58,3	průměrně vodný
54	1945	6,50	59,4	průměrně vodný
55	1976	6,47	60,5	málo vodný
56	1962	6,44	61,6	málo vodný
57	1943	6,41	62,7	málo vodný
58	1956	6,36	63,8	málo vodný
59	1961	6,36	64,9	málo vodný
60	1988	6,36	66,0	málo vodný
61	1929	6,35	67,1	málo vodný
62	1992	6,35	68,3	málo vodný
63	1947	6,30	69,4	málo vodný
64	1986	6,29	70,5	málo vodný
65	1996	6,28	71,6	málo vodný
66	2004	6,20	72,7	málo vodný
67	1949	6,17	73,8	málo vodný
68	1974	6,13	74,9	málo vodný
69	2014	6,11	76,0	málo vodný
70	1982	6,07	77,1	málo vodný
71	2005	5,92	78,2	málo vodný
72	1927	5,87	79,3	málo vodný
73	1928	5,81	80,4	málo vodný
74	1967	5,72	81,5	málo vodný
75	1937	5,64	82,6	málo vodný
76	1932	5,41	83,7	málo vodný
77	1960	5,39	84,8	málo vodný
78	1955	5,35	86,0	málo vodný
79	1939	5,34	87,1	málo vodný
80	1963	5,23	88,2	málo vodný
81	1989	5,21	89,3	málo vodný
82	1954	5,19	90,4	mimořádně málo vodný
83	1951	5,11	91,5	mimořádně málo vodný
84	1965	5,11	92,6	mimořádně málo vodný
85	1957	5,03	93,7	mimořádně málo vodný
86	1972	5,03	94,8	mimořádně málo vodný
87	1936	5,01	95,9	mimořádně málo vodný
88	1964	4,97	97,0	mimořádně málo vodný
89	1940	4,74	98,1	mimořádně málo vodný
90	1938	4,54	99,2	mimořádně málo vodný

Zdroj: vlastní, Institut vodných problem

Tab. č. 7: Pravděpodobnost překročení Q_r v letech 1927-2015⁵ řeky Kara-Balta

Pořadí	Rok	Q_r [m ³ /s]	p[%]	Typ roku
1	2002	7,81	0,9	mimořádně vodný
2	1988	7,78	2,3	mimořádně vodný
3	1987	7,20	3,6	mimořádně vodný
4	1998	7,15	4,9	mimořádně vodný
5	1959	6,34	6,2	mimořádně vodný
6	1969	6,32	7,6	mimořádně vodný
7	1964	6,31	8,9	mimořádně vodný
8	1949	6,27	10,2	vodný
9	2015	6,26	11,5	vodný
10	1958	6,24	12,9	vodný
11	1931	6,22	14,2	vodný
12	1992	6,22	15,5	vodný
13	1942	6,19	16,8	vodný
14	2005	6,18	18,2	vodný
15	1966	6,17	19,5	vodný
16	1994	6,04	20,8	vodný
17	1952	6,00	22,1	vodný
18	1934	5,89	23,5	vodný
19	1990	5,88	24,8	vodný
20	1928	5,78	26,1	vodný
21	1941	5,71	27,5	vodný
22	1946	5,70	28,8	vodný
23	1953	5,65	30,1	vodný
24	1993	5,65	31,4	vodný
25	1983	5,64	32,8	vodný
26	1940	5,63	34,1	vodný
27	1933	5,57	35,4	vodný
28	1930	5,54	36,7	vodný
29	1981	5,53	38,1	vodný
30	1970	5,51	39,4	vodný
31	1967	5,49	40,7	průměrně vodný
32	1927	5,48	42,0	průměrně vodný
33	1954	5,46	43,4	průměrně vodný
34	1936	5,42	44,7	průměrně vodný
35	1960	5,42	46,0	průměrně vodný
36	1968	5,37	47,3	průměrně vodný
37	1947	5,36	48,7	průměrně vodný
38	1935	5,32	50,0	průměrně vodný
39	2001	5,29	51,3	průměrně vodný
40	1937	5,22	52,7	průměrně vodný
41	1956	5,17	54,0	průměrně vodný
42	1963	5,15	55,3	průměrně vodný
43	1929	5,14	56,6	průměrně vodný
44	1991	5,07	58,0	průměrně vodný
45	1984	5,05	59,3	průměrně vodný
46	1950	5,04	60,6	málo vodný
47	1945	4,97	61,9	málo vodný
48	1979	4,92	63,3	málo vodný
49	1951	4,91	64,6	málo vodný
50	2013	4,89	65,9	málo vodný
51	1973	4,89	67,2	málo vodný
52	1955	4,81	68,6	málo vodný
53	1962	4,81	69,9	málo vodný
54	1978	4,79	71,2	málo vodný
55	1932	4,77	72,5	málo vodný
56	1948	4,68	73,9	málo vodný
57	1989	4,65	75,2	málo vodný
58	1977	4,58	76,5	málo vodný
59	1939	4,56	77,9	málo vodný
60	1986	4,50	79,2	málo vodný
61	1971	4,49	80,5	málo vodný
62	1972	4,42	81,8	málo vodný
63	1965	4,32	83,2	málo vodný
64	1980	4,32	84,5	málo vodný
65	1985	4,32	85,8	málo vodný
66	1957	4,31	87,1	málo vodný
67	1943	4,26	88,5	málo vodný
68	1938	4,19	89,8	málo vodný
69	1961	4,10	91,1	mimořádně málo vodný
70	1975	4,07	92,4	mimořádně málo vodný
71	1944	4,06	93,8	mimořádně málo vodný
72	2014	3,92	95,1	mimořádně málo vodný
73	1982	3,89	96,4	mimořádně málo vodný
74	1974	3,87	97,7	mimořádně málo vodný
75	1976	3,70	99,1	mimořádně málo vodný

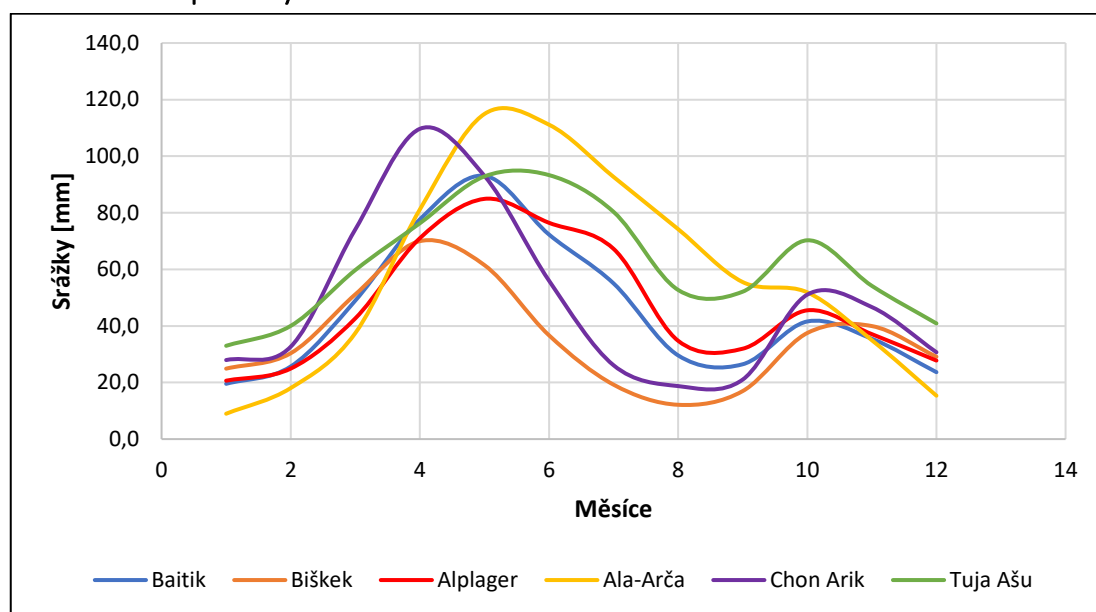
Zdroj: vlastní, Institut vodních problémů

⁵ Byly použity pouze roky, ve kterých proběhlo měření celý rok

5. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ NA ZÁKLADĚ DAT O SRÁŽKÁCH A TEPLOTÁCH

V této kapitole jsou popsána a zpracována data o srážkách a teplotách relevantních pro danou zkoumanou oblast – severní část Kyrgyzského hřbetu v oblasti povodí řek Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta. Bohužel nebyla k dispozici data z dalších meteorologických stanic (např. v povodí řeky Alamedin).

5.1 Srážkové poměry



Graf č. 21: Dlouhodobé průměrné měsíční srážky na stanicích Baitik, Biškeek, Alplager, Ala-Arča, Chon Arik a Tuja Ašu z dostupných let

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem a Monthly Observational Data Map (2017)

Na základě dlouhodobých úhrnů srážek (obr. č. 21) můžeme konstatovat, že srážky dosahují dvou maxim – jarního a podzimního, což je způsobeno přechodem polární fronty, která se nachází na rozhraní tropického a polárního vzduchu. V jarních měsících dochází k pohybu polární fronty na sever, což způsobuje výskyt maximálních srážek (Encyklopedia Britannica, 2019a). Při zpětném pohybu polární fronty směrem na jih v období podzimu dochází k druhé vlně srážek, proto zde máme dvě maxima. Hodnoty průměrných měsíčních srážek můžeme vidět v příloze č.1.

Pro stanici Baitik je nejvyšší jarní vrchol v měsíci květnu, podzimní pak v měsíci říjnu. Stanice Biškeek má své dva vrcholy posunuté, ten jarní má o měsíc dříve, tedy v dubnu, naopak podzimní o měsíc později – v listopadu. Stanice Alplager dosahuje svých dvou maxim ve stejných měsících jako stanice Baitik, tedy v květnu a říjnu. Stanice Chon Arik má své jarní minimum posunuté stejně jako stanice Biškeek do dubna, ale podzimní maximum je v říjnu. Jediná stanice Tuja Ašu má své jarní maximum posunuté až do měsíce června, to podzimní se nachází jako většina stanic v měsíci říjnu. Nejvýše položená stanice Ala-Arča má jarní maximum v květnu, ale již z důvodu vyšší nadmořské výšky nemá významné podzimní maximum. Jak je totiž napsáno v kapitole Klimatické poměry, s vyšší nadmořskou výškou dochází k zániku podzimního maxima.

Zajímavý je i údaj dlouhodobých průměrných úhrnů ročních srážek. Nejvyšší průměrný roční úhrn srážek byl naměřen na stanici Tuja Ašu a to 766 mm. Druhým nejvyšším úhrnem je 698 mm, který byl naměřen na stanici Ala-Arča. Na stanici Chon Arik je dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek 588 mm. O 32 mm méně je naměřený průměrný roční úhrn srážek na stanici Alplager (566 mm). Podobně je na tom i dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek na stanici Baitik, který má hodnotu 549 mm. Nejmenší úhrn srážek najdeme na nejnižše položené stanici Biškeek, kde je roční úhrn srážek 430 mm.

Ve sledovaném období pro stanici Baitik je měsíční minimum v množství spadlých srážek nejnižší v měsíci srpnu v letech 1916, 1918 a 1984 a také v měsíci září v roce 1959, kdy nebyly zaznamenány žádné srážky. Maximální naměřená hodnota měsíčních srážek byla v květnu 1954, kdy spadlo 224,6 mm.

Pro stanici Biškeek také nebyly naměřeny žádné srážky a to v měsíci srpnu v letech 1939, 2003 a 2006 a v měsíci září v letech 2005 a 2007. Naopak maximální srážky byly zaznamenány v dubnu 1994, celkový úhrn srážek v tomto měsíci byl 156,7 mm.

V listopadu 1983 a v srpnu 1984 nebyly zaznamenány žádné srážky na stanici Alplager. Nulová hodnota srážek byla v té době naměřena i na stanici Baitik. Co se týče maximálních měsíčních srážek na stanici Alplager, byl pro ně významný rok 1988, neboť v měsíci květnu a červnu byla naměřena stejná nejvyšší hodnota srážek ve sledovaném období a to 154,2 mm.

V krátkém časovém záznamu najdeme nejnižší hodnotu měsíčních srážek v lednu 1963, kdy nespadlo žádné srážky, naopak maximální měsíční úhrn má hodnotu 188,7 mm a byl zaznamenán v červnu 1972.

I na stanici Chon Arik najdeme měsíc s nulovým úhrnem srážek. Žádné srážky nebyly naměřeny v říjnu 1954 a srpnu 1956. Nejvyšší úhrn srážek byl zaznamenán v roce 1937, kdy během měsíce května spadlo 214,1 mm srážek.

Na stanici Tuja Ašu, nacházející se v povodí řeky Kara-Balta, nebyl ve sledovaném období zaznamenán měsíc bez srážek. Nejméně deštivým měsícem tak byl únor 1986, během kterého byl naměřen úhrn srážek pouze 1,2 mm. Maximální měsíční úhrn srážek naměřený v květnu 1960 byl nejvyšší ze všech zkoumaných stanic a má hodnotu 218,4 mm.

Na grafu č. 22 můžeme vidět procentuální měsíční rozložení srážek za sledované období na stanicích Baitik, Biškeek, Alplager, Ala-Arča, Chon Arik a Tuja Ašu. Procentuální rozložení srážek během ročních období za jednotlivé stanice pak najdeme v grafu č. 23.

Procentuální měsíční rozložení srážek nám ukazuje a potvrzuje, že nejvýznamnějším měsícem na stanici Baitik je květen. V tomto měsíci spadne 16,9 % srážek. Druhým nejdeštivějším měsícem je poté duben s 14,2 % všech srážek, následovaný měsícem červnem s 13,3 % srážek. Nejmenší procentuální zastoupení srážek má měsíc leden, který se podílí na celkových ročních srážkách pouze 3,5 %. Druhým nejsušším měsícem je pak prosinec se 4,3 % srážek. Malé množství srážek má také měsíc září – 4,8 % srážek. Při pohledu na rozložení srážek do jednotlivých ročních období zcela jasně dominuje jaro se 40,0 % srážek. Na léto pak připadá 28,7 % srážek.

Graf č. 22 nám ukazuje, že na stanici Biškeek má nejvyšší procentuální zastoupení měsíc duben, během něhož spadne 16,3 % celkových ročních srážek. Dále je následován měsícem květnem (14,3 %) a s menším odstupem měsícem březnem, který zaujímá 11,9 % ročních srážek. Nejsušším měsícem na stanici ležící v hlavním městě je měsíc srpen, který v rámci ročního rozložení zaujímá pouze 2,8 % srážek. Druhým velmi suchým měsícem je měsíc září se 4 %. Jen o půl procenta více pak má měsíc červenec. I v případě stanice Biškeek je s největším procentuálním výskytem srážek v rámci ročních období jaro, dominuje se 42,5 % srážek. V tomto případě není následováno létem, které je pro tuto stanici nejsušším obdobím (15,8 %), ale podzimem, během něhož spadne 22 % srážek.

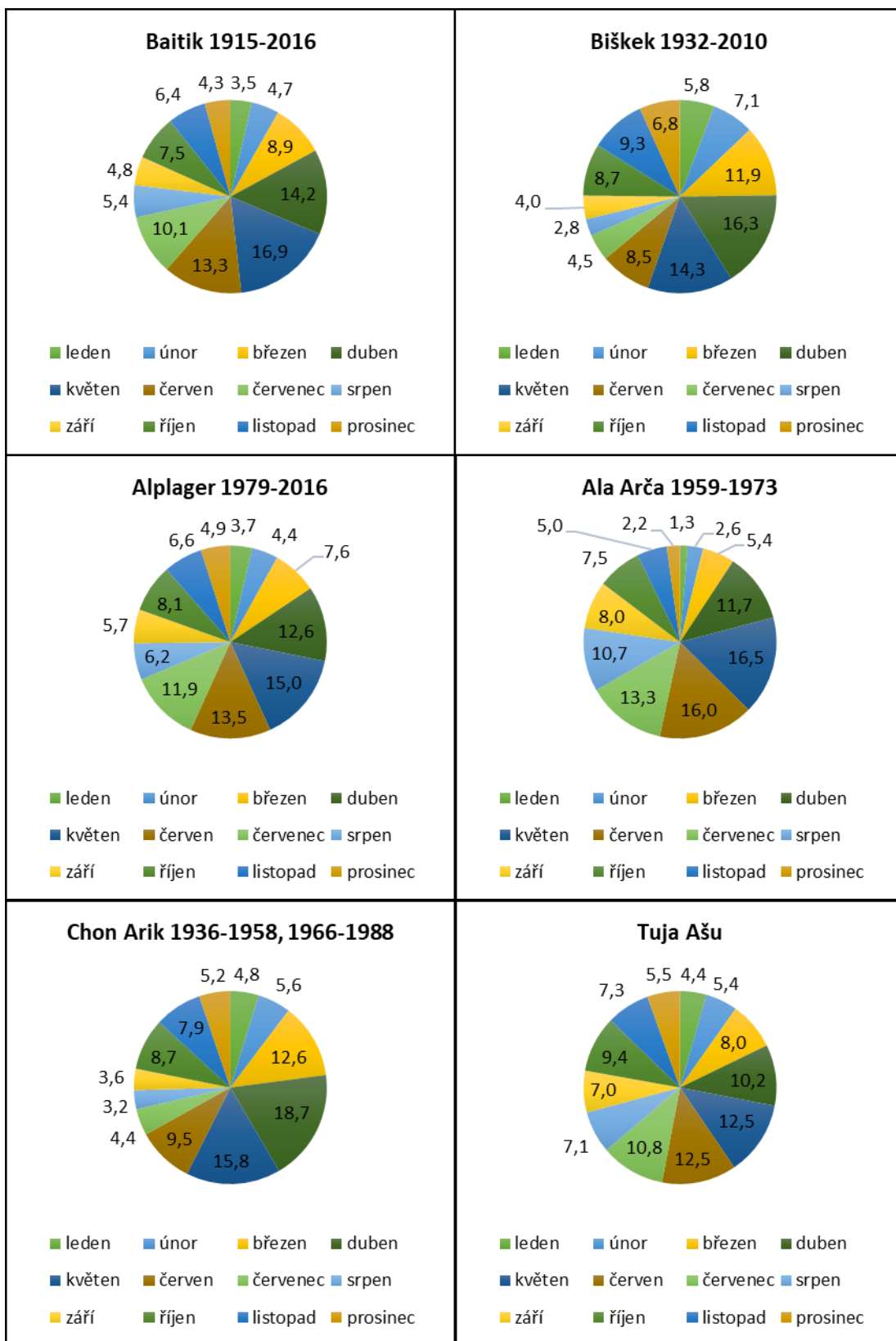
Na stanici Alplager, stejně jako na stanic Baitik je nejvýznamnějším měsícem z hlediska srážek květen, kdy v rámci tohoto měsíce spadne v průměru 15,0 % srážek. Druhým nejdeštivějším měsícem už není duben, ale červen s 13,5 % srážek. Měsíc duben s 12,6 % je až třetím nejdeštivějším měsícem. Nejméně srážek v průměru spadne v lednu – 3,7 % srážek. O něco více jich spadne v únoru, pro nějž je průměrné procentuální zastoupení 4,4 %. Ani

prosinec nepatří mezi deštivé měsíce, množství spadlých srážek je 4,9 % z celého roku. Nejdeštivějším ročním obdobím je též jaro (35,1 %), které má jen nepatrný náskok nad létem, během něhož spadne 31,6 % srážek.

Na stanici Ala-Arča jsou nejdeštivějšími měsíci květen a červen, které mají mezi sebou rozdíl jen půl procenta. Během května spadne 16,5 % z ročních srážek, v červnu pak 16 % srážek. Třetím nejdeštivějším obdobím je červenec s 13,3 % srážek. Na této stanici je nejsušším měsícem leden, během něhož spadne pouze 1,3 % z celkových ročních srážek. Poté je leden následován oběma zimními měsíci – prosincem (2,2 %) a únorem (2,6 %). Na stanici Ala-Arča není na rozdíl od předchozích stanic nejdominantnější jaro, které zde má pouze 33,5 %, ale je jím léto s 39,9 % srážek. Tato stanice vykazuje nejsušší zimní období ze všech stanic.

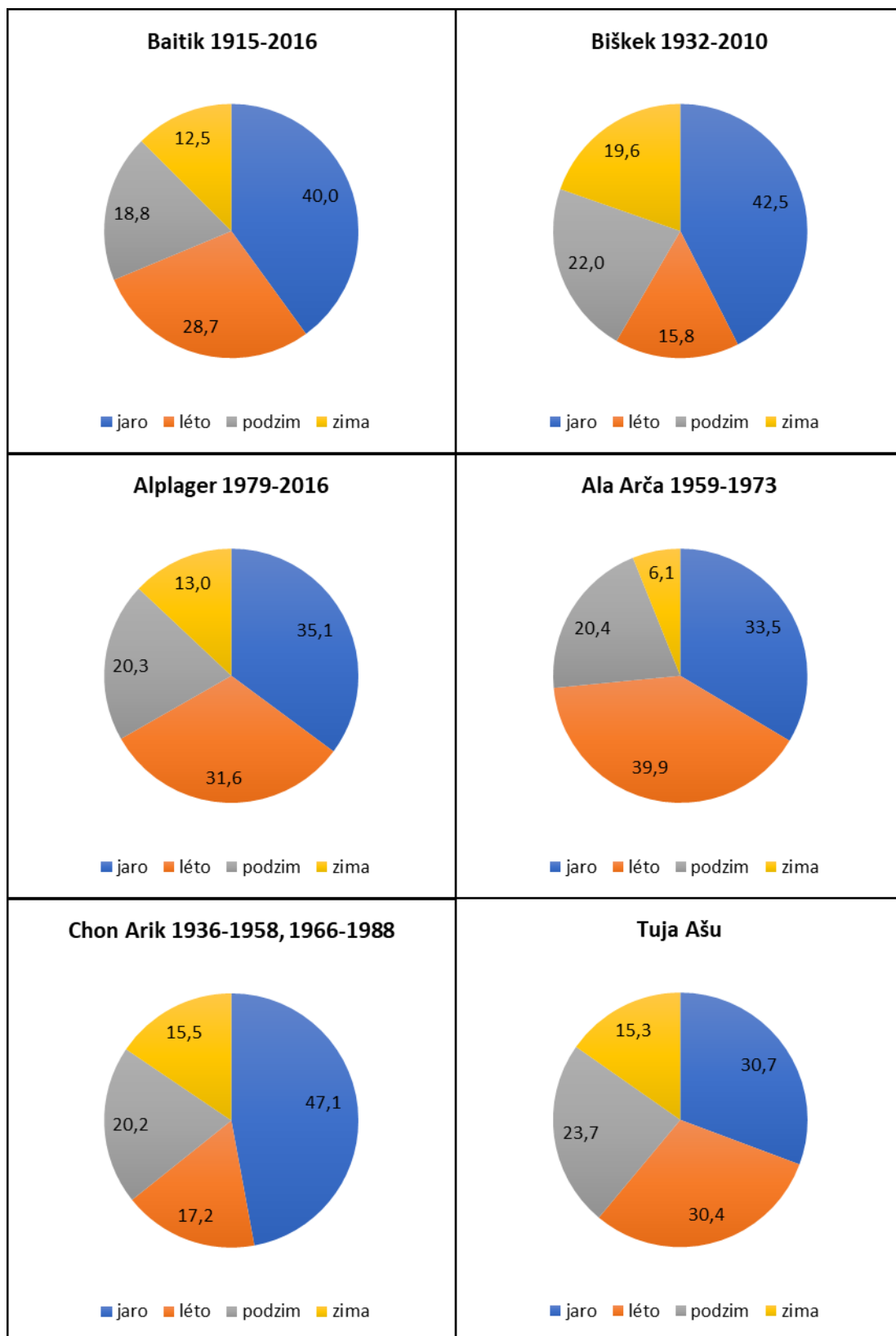
Nejdeštivější měsíc duben byl zjištěn na stanici Chon Arik. Během dubna zde spadne 18,7 % srážek. Druhým nejdeštivějším měsícem pak je s 15,8 % květen. Na této stanici je i březen významným měsícem, co se týče množství srážek, během něho spadne 12,6 % z celkových ročních srážek. Nejsušší měsíc srpen s 3,2 % srážek je následován zářím, během kterého spadne 3,6 % srážek. Malé množství srážek spadne také v červenci, během kterého je procentuální zastoupení srážek z roku 4,4 %. Dominantním obdobím, co se týče spadlých srážek, je opět jaro. Na stanici Chon Arik spadne téměř polovina (47,1 %) srážek právě během jara. V porovnání s ostatními stanicemi jsou zde jarní srážky nejdominantnější.

Stanice Tuja Ašu má hned dva nejdeštivější měsíce, které mají stejné procentuální zastoupení, jsou to měsíce květen a červen. Během každého z těchto měsíců spadne průměrně 12,5 % srážek. Následovány jsou měsícem červencem s 10,8 % srážek. Nejsušším měsícem je na této stanici jako na většině měsíc leden, během kterého spadne 4,4 % srážek. Během února a prosince pak spadne průměrně podobné množství srážek. Leden je zde zastoupen 5,4 % srážek a prosinec 5,5 %. I zde je nejdeštivějším obdobím jaro, ale již ne s tak velkou převahou (30,7 %), je jen velmi těsně následováno letním obdobím s 30,4 % srážek.



Graf č. 22: Procentuální měsíční rozložení srážek za sledované období na stanicích Baitik, Biškek, Alplager, Ala-Arča, Chon Arik a Tuja Ašu

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



Graf č. 23: Procentuální rozložení srážek v jednotlivých ročních obdobích z dat dostupných let na stanici Baitik, Biškek, Alplager, Ala-Arča, Chon Arik a Tuja Ašu

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem

Na grafech č. 24-29 vidíme rozložení srážek v jednotlivých letech na všech našich dostupných stanicích i s průměrným ročním úhrnem srážek a také lineárním trendem, který nám říká o vývoji množství srážek, zda během sledovaného období množství srážek v jednotlivých letech vzrostlo, zůstalo stejné nebo naopak došlo k úbytku srážek.

Mezi roky 1915-2016 na stanici Baitik spadlo nejvíce srážek v roce 2016, kdy spadlo 883 mm srážek. Dalšími velmi deštivými roky pak byly roky 1987 s úhrnem srážek 855 mm a rok 1966 s 818 mm. Naopak nejsušším rokem byl rok 1917 s 257 mm srážek, následován rokem 1915, ve kterém spadlo 259 mm srážek. Třetí nejméně deštivý rok už má o více než 100 mm srážek více, a to 366 mm (1943). Rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším množstvím srážek je vcelku velký. Hodnota v období nejnižších srážek je 3,3krát nižší než výška srážek v nejdeštivějším roce. Hodnota průměrných ročních srážek je 549 mm. Při pohledu na lineární trend ročních srážek můžeme říci, že během sledovaného období došlo k nárůstu množství srážek.

Na stanici Biškek byly nejvyšší srážky naměřeny v roce 2002, kdy spadlo 742 mm srážek. Druhým nejdeštivějším rokem byl rok 1987 se 673 mm srážek, následovaný rokem 1934 s 632 mm srážek. Naopak rok 1944 byl rok, který měl nejmenší úhrn srážek. Úhrn srážek byl pouze 254 mm. O málo více srážek pak spadlo v roce 1943, kdy jejich výška byla 261 mm. Třetím nejsušším rokem na stanici Biškek pak byl rok 1932 s 273 mm srážek. I pro stanici Biškek je rozdíl mezi maximálním a minimálním úhrnem srážek významný. Maximální úhrn srážek je 2,9krát vyšší než srážky v roce s minimálním úhrnem. Pro období 1932–2010 byla vypočtena hodnota průměrných ročních srážek na 430 mm. I v tomto případě má lineární trend vzrůstající tendenci, a tudíž v průběhu let dochází k nárůstu množství srážek.

Na stanici Alplager byla nejvyšší hodnota ročních srážek naměřena v roce 1987, kdy zde spadlo 803 mm. Druhým nejdeštivějším rokem byl rok 2016 se 768 mm, který je následován rokem 2003, během něhož spadlo 716 mm srážek. Mezi nejsušší roky se zařadily roky 1997, 2008 a 1996. V roce 1997 spadlo pouze 359 mm srážek, lehce přes 400 mm (407) byl naměřen úhrn srážek v roce 2008 a 426 mm spadlo v roce 1996. Rozdíl v množství srážek mezi nejdeštivějším a nejsušším rokem je o něco menší než na stanicích Baitik a Biškek. V roce 1987 spadlo 2,2krát více srážek než v roce 1997. Dlouhodobý průměrný úhrn srážek je na této stanici 566 mm. Jako jediná stanice ze všech zkoumaných lineární trend neukazuje nárůst srážek. Srážky jsou za sledované období pořád přibližně stejné, množství srážek neubývá, ale ani nepřibývá.

Nejvíce srážek na stanici Ala-Arča spadlo v roce 1970, kdy byl úhrn srážek 848 mm. Jen o něco méně srážek bylo naměřeno v roce 1966, kdy roční úhrn srážek byl 836 mm. Ve dvanáctileté časové řadě byl nejmenší srážkový úhrn naměřen v roce 1964, kdy zde spadlo 595 mm. Jen o 7 mm více spadlo v roce 1961 (602 mm). Rozdíl mezi maximálním a minimálním ročním úhrnem srážek není na této stanici tak významný, což ale do velké míry bude ovlivněno délkou časové řady, která je velmi krátká. V roce 1970 byly srážky pouze 1,4 krát vyšší než v roce s nejmenším úhrnem srážek. Z dostupných let byl vypočten průměrný úhrn srážek, který je 698 mm. Z hlediska vývoje srážek je možné říct, že množství srážek přibývá.

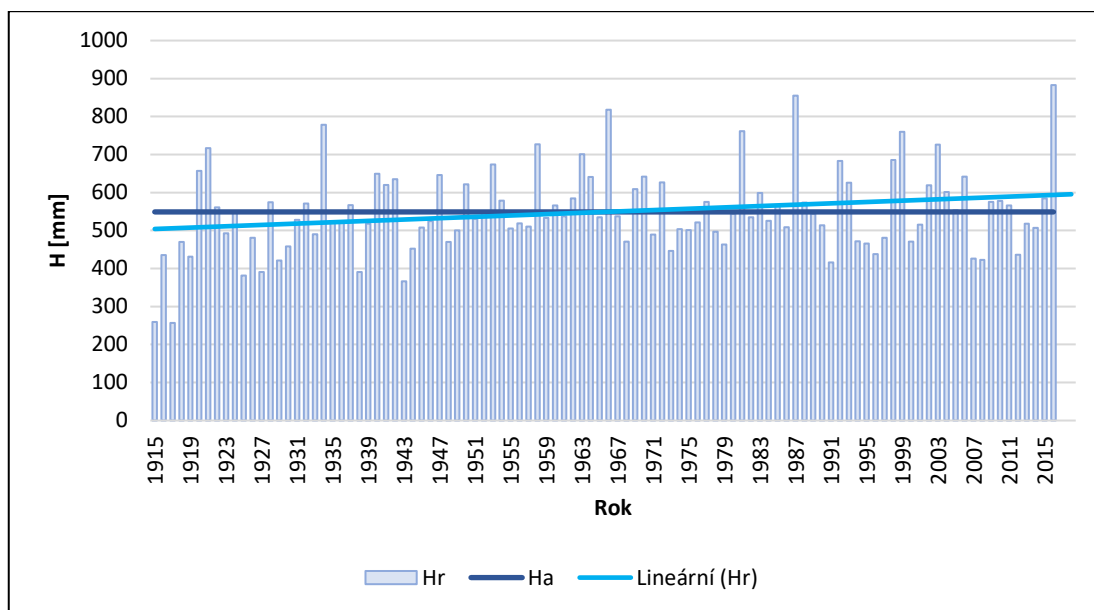
V roce 1958 byl na stanici Chon Arik zaznamenán nejvyšší roční úhrn srážek, který měl hodnotu 807 mm. Jen o milimetr méně bylo množství srážek zaznamenáno v roce 1987. Třetím nejdeštivějším rokem pak byl rok 1969, kdy stanice naměřila 787 mm srážek. Nejsušším rokem byl rok 1944, kdy zde spadlo pouze 344 mm srážek. O rok dříve pak spadlo pouze 391 mm. Třetím nejsušším rokem pak byl rok 1955, kdy roční úhrn srážek byl 463 mm. Z dostupných dat byl vypočítán dlouhodobý průměrný úhrn srážek na 588 mm. Během nejdeštivějšího roku bylo množství srážek 2,3krát vyšší než množství srážek za nejsuššího roku. Trend množství srážek je lehce rostoucí, došlo k navýšení srážek během sledovaného období.

Na stanici Tuja Ašu je dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek nejvyšší, spadne zde průměrně 766 mm srážek za rok. Nejdeštivějším rokem byl rok 1969, kdy spadlo za rok úctyhodných 1102 mm srážek. Dalším rokem s velkým množstvím srážek byl rok 2003, během něhož spadlo 1060 mm srážek. Přes 1000 mm srážek bylo ještě zaznamenáno v roce 2016, kdy byl úhrn srážek 1055 mm. Naopak rokem s nejmenším množstvím srážek byl rok 1973, kdy spadlo pouze 421 mm. O více jak 100 mm více pak spadlo v roce 1984, kdy byl zaznamenán úhrn srážek 558 mm. Třetím nejsušším rokem pak byl rok 1961, během něhož spadlo 578 mm. V roce 1969 spadlo 2,6krát více srážek než v roce 1973. I na této stanici nám lineární trend ukazuje nárůst množství srážek.

Podle údajů ze všech stanic můžeme říci, že rok 1987 byl rok deštivý. Všechny stanice, které v tento rok měřily, se shodují, že v této lokalitě to byl jeden z roků s nejvyšším úhrnem srážek, totéž pak lze říci i o roku 2016. Naopak nejmenší úhrn srážek byl zaznamenán v roce 1943 na všech stanicích, které v tento rok měřily. Velké množství srážek nebylo ani o rok později v roce 1944.

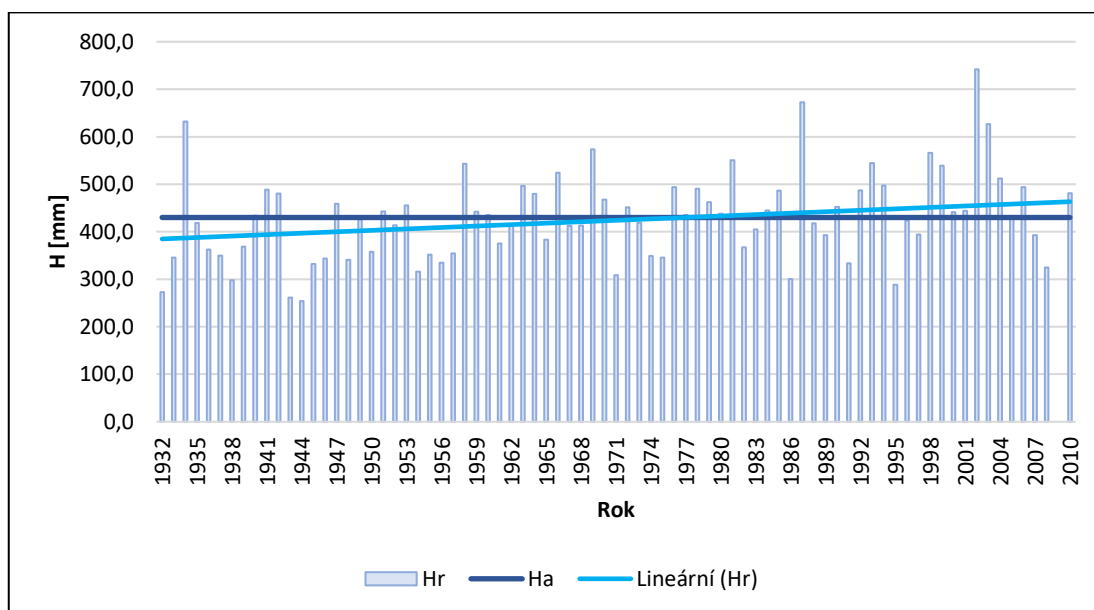
Naměřená nejmenší hodnota srážek na stanicích se vejde do té nejvyšší hodnoty v průměru 2,2krát až 3,3krát. Pro porovnání jak to vypadá na jiných řekách, můžeme uvést stanice Stará Rokle a Chaloupky, nacházející se v ČR. Ledvinka (2008) ve své práci uvádí, že výška

srážek mezi srážkově nadprůměrným rokem 2002 a srážkově podprůměrným rokem 1985 byla 1,9krát větší v roce 2002 na stanici Stará Rokle a 1,8krát větší na stanici Chaloupky. Další místo, které můžeme použít pro porovnání, je stanice Naryn, která také leží na území Kyrgyzstánu. Nachází se na jižní straně Kyrgyzského hřbetu a leží ve výšce 2041 m n.m. Byly zde naměřeny nižší úhrny srážek, ale nejdeštivější rok 1965 (555 mm) měl 4,6krát vyšší množství srážek než nejsušší rok 1917 (121 mm).



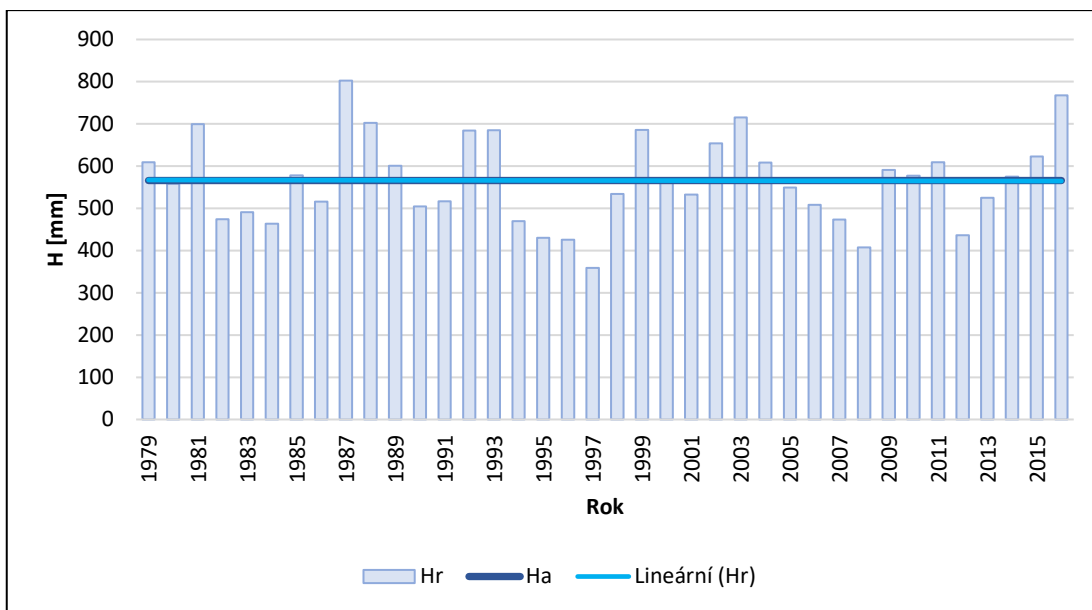
Graf č. 24: Roční množství srážek v letech 1915-2016 na stanici Baitik

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



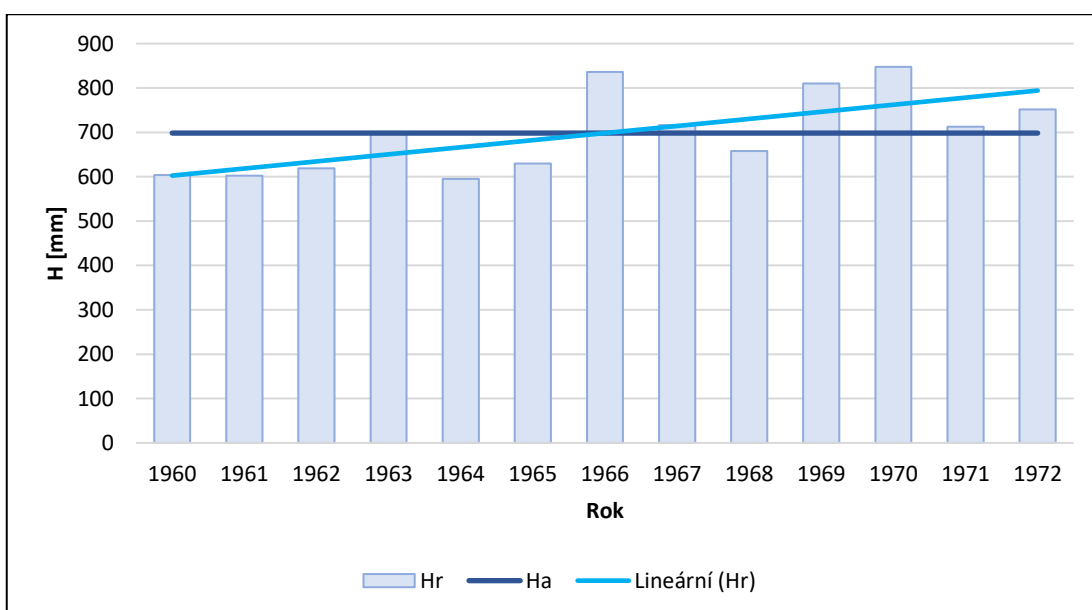
Graf č. 25: Roční množství srážek v letech 1932-2010 na stanici Biškek

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



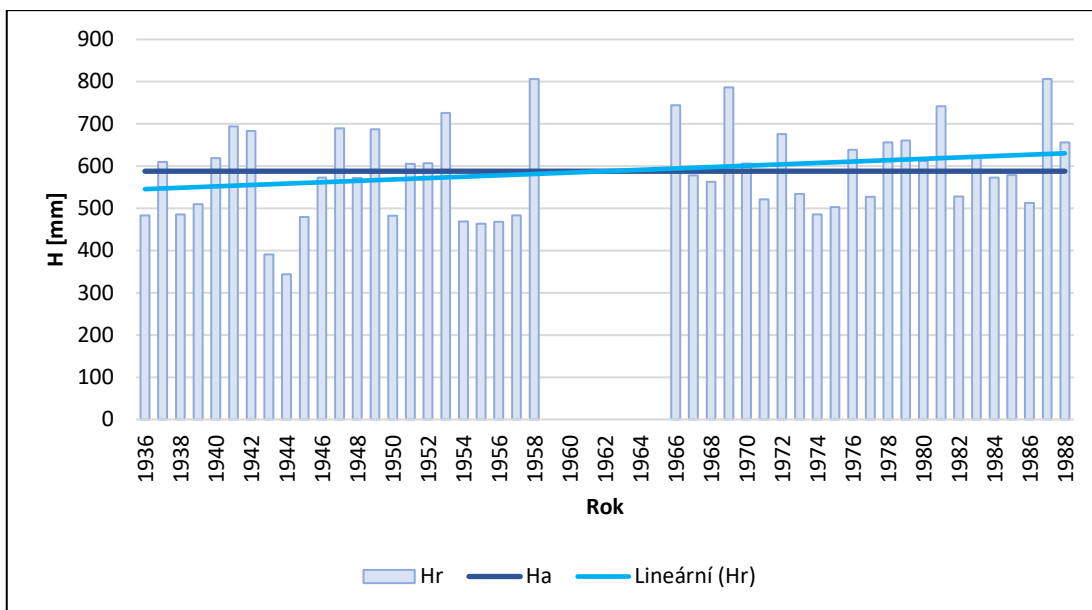
Graf č. 26: Roční množství srážek v letech 1979-2016 na stanici Alplager

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)



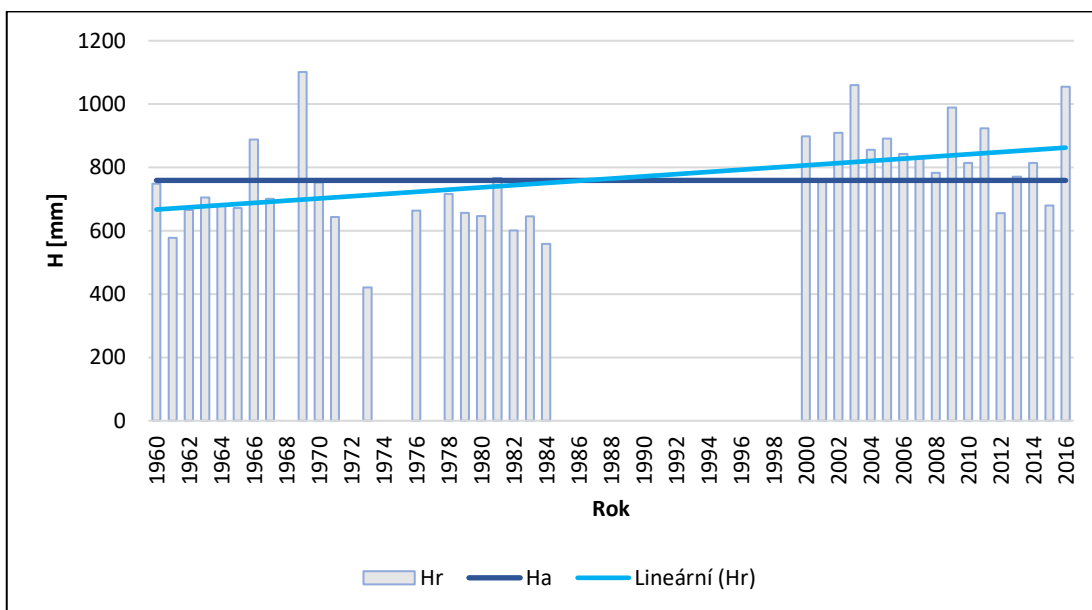
Graf č. 27: Roční množství srážek v letech 1960-1972 na stanici Ala Arča

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)



Graf č. 28: Roční množství srážek v letech 1936-1988 na stanici Chon Arik

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)



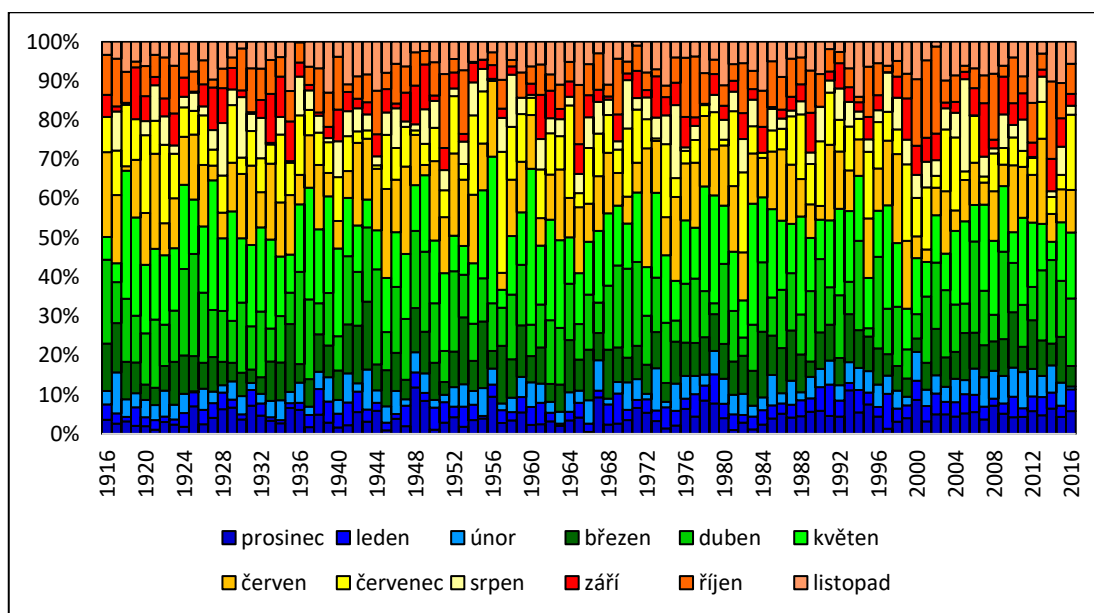
Graf č. 29: Roční množství srážek v letech 1960-2016, bez let 1972,1974, 1975, 1977 a 1985 až 1999 na stanici Tuja Ašu

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

Na grafech č. 26 a 27 vidíme sezónní rozložení srážek na dvou stanicích s nejdelšími kontinuálními časovými řadami. I z těchto grafů je vidět dominance jarních srážek v obou případech. Na stanici Biškek je pak dobře pozorovatelný velký úbytek srážek v období léta.

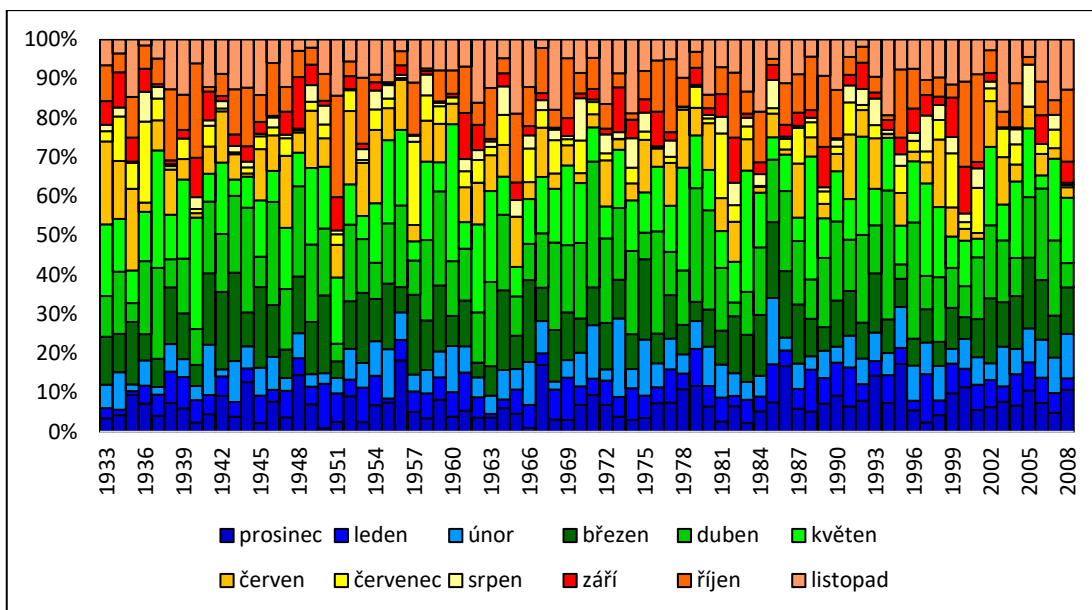
Když se podíváme na graf č. 30 podrobněji, vidíme, že na stanici Baitik byl v rámci zimního období nejvýznamnější rok 1979, spadlo zde 21,1 % srážek. Významné jaro pak nastalo v roce 1918, kdy během tohoto období spadlo 58,3 % srážek. V období od června do srpna se na srážkách nejvíce podílel rok 1954 s úhrnem srážek 46,1 %. Výrazný podzim byl s 38,1 % v roce 2014. Naopak málo významnou zimou byla zima v roce 1963, kdy spadlo pouze 5,6 % srážek. Nejméně deštivým jarem byl rok 1999, kdy spadlo pouze 22,4 % srážek. Nejsušší léto s podílem 11,4 % srážek nastalo v roce 1984. Nejmenší podíl srážek na podzim měl rok 1955 se 7 % srážek.

Při pohledu na změny sezónního rozložení srážek pro stanici Biškek (graf č. 31) můžeme říci, že nejvýznamnější zimou byla zima roku 1985 s 34,1 % srážek. Naopak nejméně významným zimním obdobím byl s podílem 9,2 % stejně jako na stanici Baitik rok 1963. Velmi významné jaro přišlo roku 1937 s podílem srážek 60,3 %. O téměř 40 % méně se podílelo na srážkách jaro 1995 (20,8 %). V roce 1994 bylo velmi suché léto, z celého roku zde spadlo pouze 2,1 % srážek. Oproti tomu léto v roce 1936 zaujímal podíl 30,6 % srážek. Skoro polovina srážek (48,7 %) spadla během podzimu v roce 1951. Nejméně významné období září–listopad bylo v roce 2005 s 6,4 % srážek.



Graf č. 30: Změny sezónního rozložení srážek na stanici Baitik v letech 1916-2016

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem

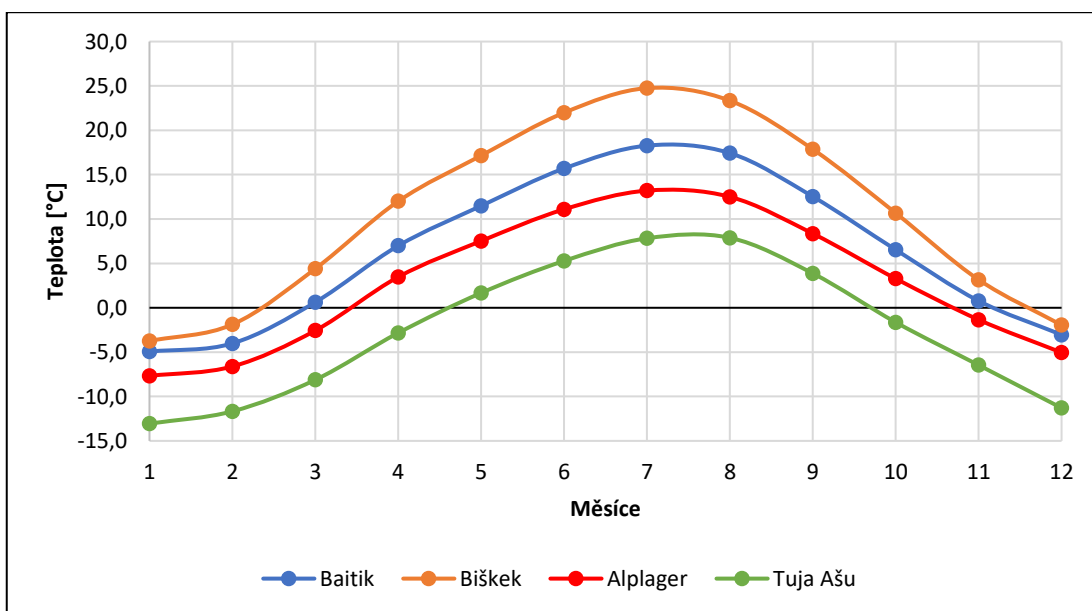


Graf č. 31: Změny sezónního rozložení srážek na stanici Biškek v letech 1933-2008

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem

5.2 Teplotní poměry

Jak již bylo řečeno v kapitole 3.1 Zdroje dat, teploty jsou k dispozici ze 4 stanic – Baitik, Biškek, Alplager a Tuja Ašu.



Graf č. 32: Dlouhodobé průměrné měsíční teploty na stanicích Baitik, Biškek, Alplager a Tuja Ašu z dostupných let

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem a Monthly Observational Data Map (2017)

Oproti srážkám, které dosahují dvou maxim, teplota má maximum pouze jedno, na základě grafu č. 32 můžeme vidět, že nejvyšší průměrné teploty na stanicích Baitik, Biškek a Alplager jsou v měsíci červenci. Jediná stanice Tuja Ašu má nejvyšší průměrné teploty v srpnu, je o 0,1 °C vyšší než ta v červenci. Nejnižší průměrné teploty pak pro všechny stanice můžeme hledat v měsíci lednu. Z grafu č. 28 je také jasně patrné, že průměrné měsíční teploty na stanicích jsou významně ovlivněny nadmořskou výškou. Nejnižší položená stanice Biškek dosahuje ve všech měsících vyšších teplot než kterákoliv jiná. Například rozdíl mezi dlouhodobými průměry měsíčních teplot na stanici Baitik a Biškek se pohybují od 1,2 °C v měsíci prosinci až po 6,5 °C v červenci. Konkrétní hodnoty průměrných měsíčních teplot pro tyto stanice můžeme najít v příloze č.2.

Z dlouhodobého průměru vyplývá, jak již bylo zmíněno výše, že pro stanici Baitik je nejteplejším měsícem červenec, ale podíváme-li se na jednotlivé roky podrobněji, vyzorujeme, že na stanici Baitik byla během let 1915-2016 naměřena vyšší teplota v srpnu než v červenci 28krát a 4krát byla průměrná teplota v červenci rovná teplotě v srpnu. I pro stanici Biškek můžeme najít roky, kdy průměrná teplota v srpnu byla vyšší než v červenci, a to v rámci měřeného období 14krát a 5krát byla teplota stejná. U stanice Alplager najdeme vyšší teplotu v srpnu než v červenci 7krát a k tomu ještě 2krát byla vyšší v červnu než v červenci. Tím, že na stanici Tuja Ašu byla zjištěna vyšší průměrná měsíční teplota v srpnu, dosahují průměrné srpnové teploty vyšších hodnot častěji než průměrné teploty červencové během zkoumaného období. Jejich poměr je 14 ku 18 (červenec ku srpnu), v roce 1976 pak jejich průměrná teplota byla v obou měsících stejná. U nejnižších průměrných měsíčních teplot je to pak ještě více variabilní, neboť některá minima se nachází kromě ledna také v měsících prosinec a únor.

Absolutním průměrným měsíčním maximem pro stanici Baitik je 21,7 °C v červenci 1944. Druhá nejvyšší průměrná měsíční teplota je 21,2 °C, která byla naměřena v červenci 2015. Jen o tři desetiny méně bylo naměřeno v srpnu 1923. V lednu 1919 byla naměřena hodnota absolutního průměrného měsíčního minima -12,4 °C. Druhé dvě nejmenší naměřené teploty byly zaznamenány v lednu 1969 a v únoru 1984, kdy shodně průměrná měsíční teplota byla -11,3 °C.

Na stanici Biškek byly všechny tři nejvyšší průměrné měsíční teploty zjištěny v červenci. Ta absolutně nejvyšší připadá na rok 1944, kdy byla průměrná měsíční teplota 27,4 °C. Pouze o dvě desetiny stupně nižší byla naměřena teplota v roce 2005. Třetí nejvyšší průměrnou měsíční teplotou je 29,9 °C z roku 2008. U stanice Biškek je zajímavé, že až pátá nejnižší teplota byla v lednu. Absolutní průměrné měsíční minimum bylo naměřeno v prosinci 1984 a jeho hodnota je -13,7 °C. Druhá nejnižší naměřená teplota připadá na měsíc únor, kdy v roce 1969 bylo

naměřeno -12,6 °C. Jen o dvě desetiny více byla průměrná měsíční teplota naměřena v únoru 1951.

Při pohledu na data ze stanice Alplager zjistíme, že rok 1984 byl velmi extrémním rokem. V srpnu zde byla naměřena nejvyšší průměrná měsíční teplota, která má hodnotu 15,5 °C. Jen o měsíc dříve, v červenci, byla zaznamenána v tomto roce i druhá nejnižší průměrná teplota s hodnotou 14,9 °C. Teplota 14,9 °C byla také naměřena v červenci 1983. Kromě dvou nejvyšších průměrných teplot byly v roce 1984 zaznamenány i dvě nejnižší průměrné teploty, a to konkrétně v prosinci, teplota zde byla -14,1 °C a také v únoru, kdy průměrná teplota klesla na -13,8 °C. Třetí nejnižší průměrná teplota byla zaznamenána v lednu 2008.

Stejně jako u stanice Alplager byla nejvyšší průměrná měsíční teplota naměřena na stanici Tuja-Ašu v srpnu 1984, která tady měla hodnotu 12,4 °C. I červenec 1983 stejně jako na stanici předtím byl významný, průměrná měsíční teplota zde byla vypočítána na 10,9 °C. Jen o dvě desetiny nižší pak byla naměřena teplota v červenci 2015. Z dat bylo zjištěno, že nejnižší teplota pro stanici Tuja Ašu byla v dubnu 1997, kdy je v tabulce zaznamenána hodnota -19,3 °C, ale jelikož tato teplota se významně vymyká normálním průměrným teplotám v dubnu, kdy pro porovnání druhá nejnižší teplota v dubnu je -6,8 °C a ani jiné stanice nenaznačují, že by duben 1997 měl být nějak extra chladný, lze předpokládat, že tato hodnota je chybná. Další dvě nejnižší hodnoty nalezneme již v lednu, jedna je z roku 2008, kdy bylo naměřeno -18 °C a druhá z roku 1996, kdy teplota byla -17,8 °C.

Na následujících grafech č. 33 až 36 můžeme podrobně pozorovat roční amplitudu teplot na stanicích. Jedná se o rozdíl nejvyšších a nejnižších měsíčních průměrů teplot v příslušném roce.

Průměrná amplituda pro stanici Baitik je 24,7 °C. Nejvyšší amplituda byla v roce 1944, kdy rozdíl mezi minimální a maximální teplotou byl 31,8 °C. Podobný rozdíl, pouze o čtyři desetiny menší byl zaznamenán v roce 1984. Třetí největší amplituda byla v roce 2008, kdy rozdíl byl 30,9 °C. Naopak nejmenší rozdíl naměřených teplot v jednom roce byl naměřen v roce 2003, kdy amplituda teplot byla pouze 19,3 °C. O málo větší amplituda pak byla v roce 1963, kdy její hodnota je 19,7 °C. Již přes 20 °C, přesněji 20,1 °C byl pak rozdíl teplot zjištěn v roce 1987.

Na stanici Biškeek je průměrná roční amplituda výrazně vyšší, její hodnota je 30,2 °C. Absolutně nejvyšší rozdíl byl naměřen v roce 1984, kdy jeho hodnota byla 39,6 °C. Téměř totožný rozdíl byl zjištěn i v roce 1944. Amplituda teploty v tomto roce byla 39,5 °C. O téměř 3 °C nižší byla naměřena amplituda v roce 1951 (36,7 °C). Na druhé straně nejmenší amplituda byla

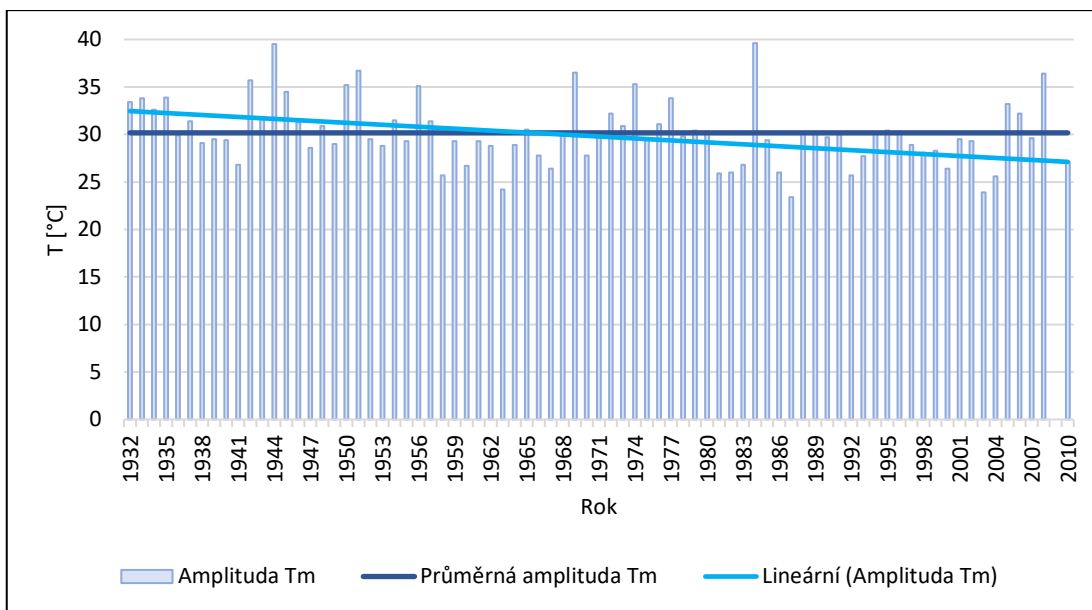
naměřena v roce 1987, jejíž hodnota je 23,4°C. Amplituda 23,9 °C pak byla zjištěna v roce 2003. V pořadí třetí nejmenší rozdíl mezi maximální a minimální teplotou v roce byl naměřen v roce 1963 a hodnota amplitudy je 24,2 °C.

Nejnižší průměrná amplituda měsíčních teplot ze všech stanic je na stanici Alplager, její hodnota je 21,9 °C. Největší amplituda byla podle očekávání v teplotně extrémním roce 1984, kdy hodnota mezi nejvyšší a nejnižší měsíční teplotou byla 29,6 °C. Druhou nejvyšší zaznamenanou amplitudou teplot byla ta v roce 2008, která měla hodnotu o téměř 2 °C nižší (27,8 °C). Naopak nejnižší amplitudu najdeme v roce 2003, kdy hodnota mezi nejvyšší a nejnižší průměrnou měsíční teplotou byla pouze 17,9 °C. V roce 1987 pak byla zaznamenána druhá nejmenší amplituda, která měla hodnotu 18,9 °C.

Na stanici Tuja Ašu je průměrná amplituda 22,5 °C. Podle grafu č. 36 je nejvyšší amplituda v roce 1997, ale je to způsobeno nejspíše špatně uvedenou hodnotou u dubna 1997 (viz výše). Rokem s nejvyšší amplitudou tedy můžeme spíše brát rok 1984, kdy hodnota amplitudy je 28,1 °C. Nejnižší amplituda byla zjištěna v roce 2016, kdy v tomto roce byl rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší měsíční teplotou 18,4 °C. V roce 1981 pak byla velikost amplitudy 18,6 °C.

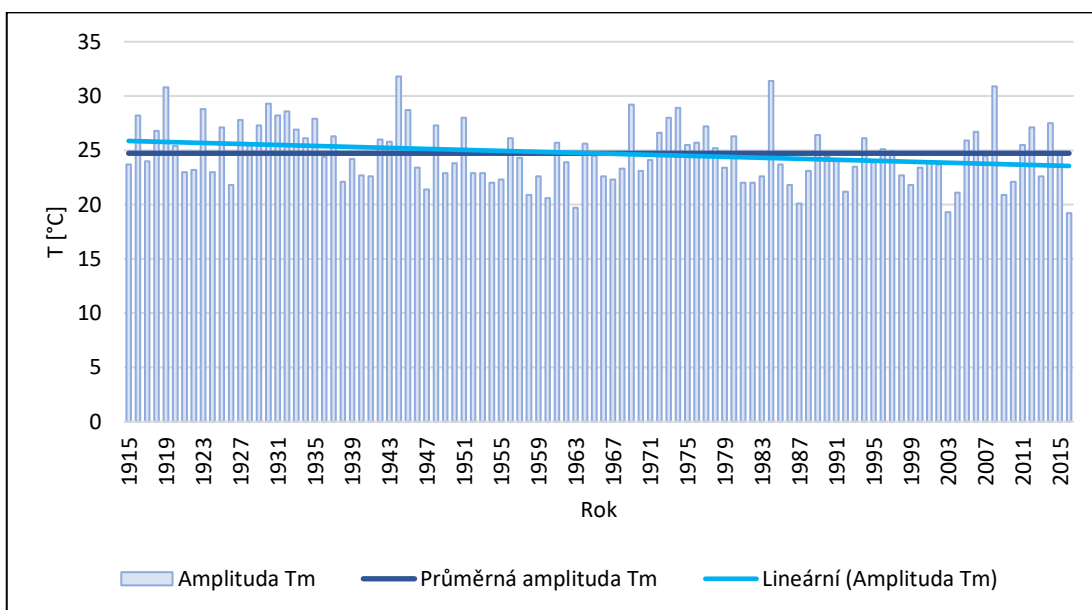
Zcela jednoznačně můžeme říci, že velmi významným rokem byl rok 1984, kdy během něho byla na všech stanicích zaznamenána jedna z nejvyšších amplitud. Na stanicích s delší dobou měření pak byl podobně extrémní i rok 1944. Kromě stanice Tuja Ašu tak byly roky s nejmenší amplitudou roky 2003 a 1987.

Při pohledu na lineární trend, který má amplituda teplot, můžeme předpokládat, že je tento trend ovlivněn i nadmořskou výškou, jelikož na nejnižše položené stanici Biškek je trend výrazněji klesající, tedy že amplituda teplot se zmenšuje. Snižující tendenci má ještě na stanici Baitik. Na stanici Alplager v podstatě žádný trend vyzorovat nejde a u nevyšše položené stanice Tuja Ašu je dokonce již lehce zvyšující se, tedy že s postupem času dochází v rámci roku ke zvětšování rozdílů mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou průměrnou teplotou.



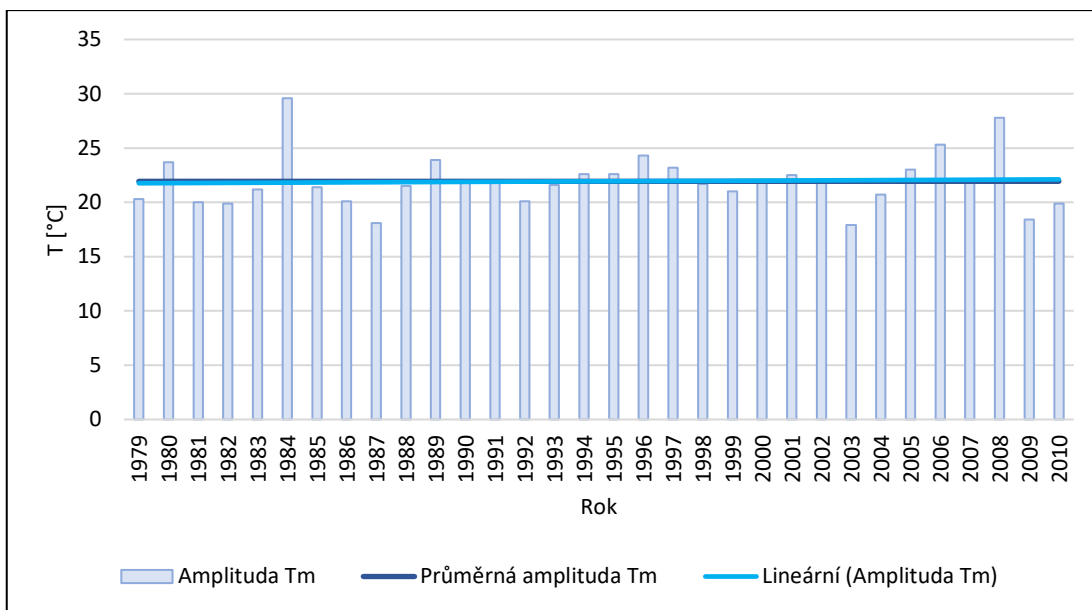
Graf č. 33: Amplitudy teplot v letech 1932-2010 na stanici Biškek

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



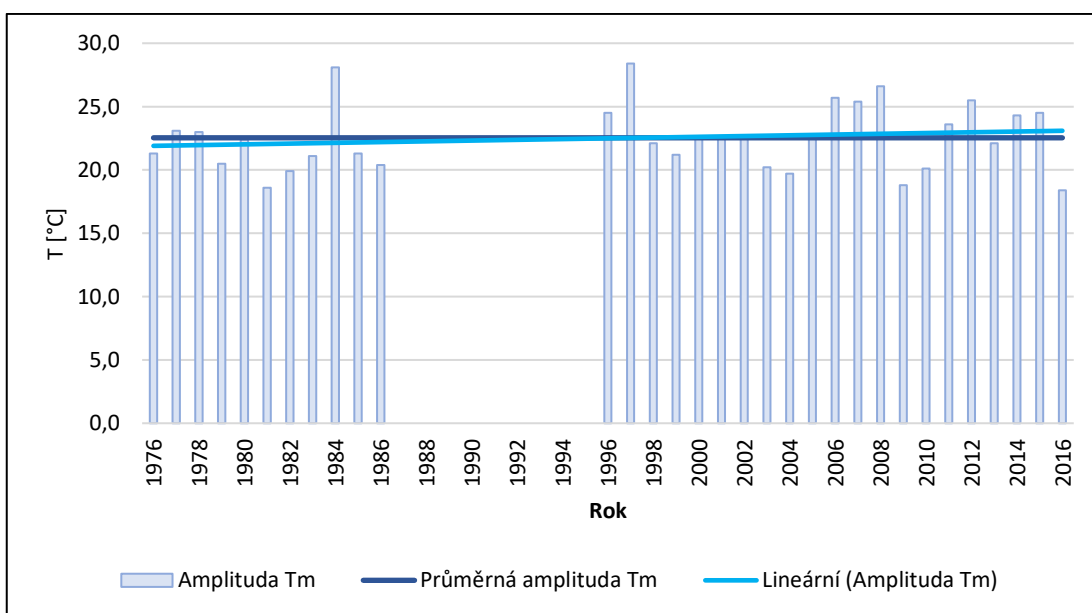
Graf č. 34: Amplitudy teplot v letech 1915-2016 na stanici Baitik

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



Graf č. 35: Amplitudy teplot v letech 1979-2010 na stanici Alplager

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)



Graf č. 36: Amplitudy teplot v letech 1976-2016 na stanici Tuja Ašu

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

Na rozdíl od trendu amplitudy, která se na všech dostupných stanicích zmenšuje, dochází u roční průměrné teploty ke zvyšování, to platí pro stanice Biškek, Baitik a Alplager. Nejvýraznější

nárůst teplot můžeme pozorovat na stanici Biškek. Tuto informaci můžeme vyčíst z grafů č. 37 až 39 na základě lineárního trendu.

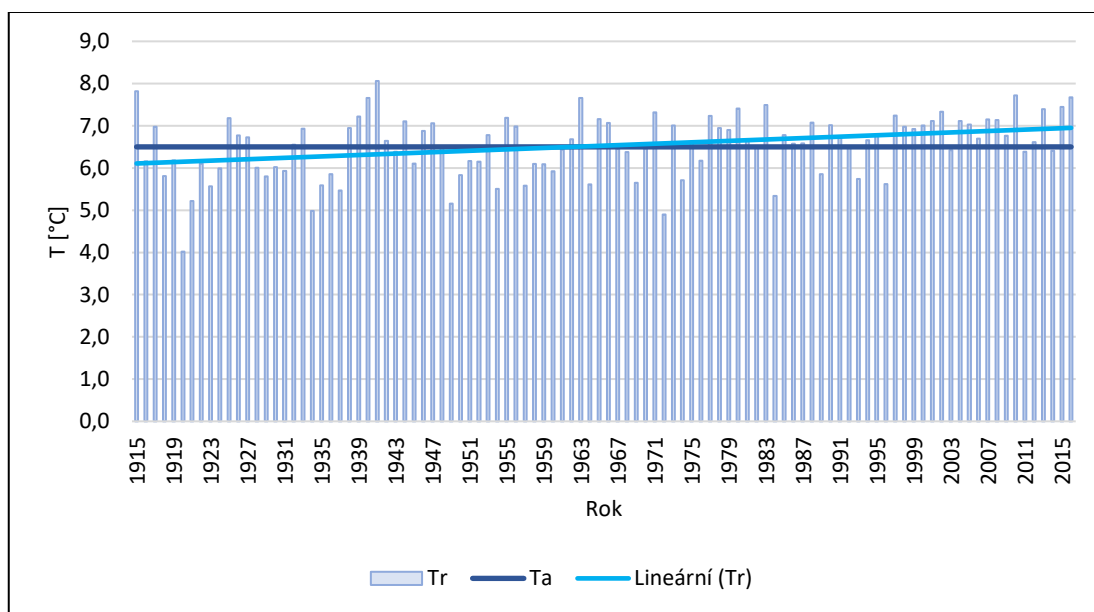
U Stanice Tuja Ašu je to o něco komplikovanější, jelikož když se podíváme na graf č. 40, vidíme, že by mělo docházet k poklesu teploty v rámci sledovaného období. Ovšem když se podíváme na graf č. 40 podrobněji, můžeme si všimnout výrazné změny naměřených hodnot před a po období, kdy stanice neměřila. Průměrná hodnota teploty od roku 1976 do roku 1986 je $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, avšak mezi roky 1996 a 2016 je průměrná měsíční teplota $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dá se předpokládat, že je to způsobeno jednou z chyb, které se při měření mohou vyskytnout. Podle Záhory (2005) během měření mohou vzniknout chyby soustavné anebo nahodilé. Mezi ty soustavné patří chyby metody, chyby měřících přístrojů, které jsou omezeny technologickými možnostmi přístrojů, a pak také chyby osobní, které jsou způsobené chybou pozorovatele. Chyby náhodné pak vznikají na základě neznámých, neovlivnitelných vlivů. Láska (2009) pak ve své práci vyjmenovává zdroje nehomogenit pro klimatologické stanice, mezi něž patří přerušení pozorování, přemístění stanice, změna polohy přístroje, změny v okolí stanice, změna pozorovatele a změna metodiky pozorování. Změna také může dojít při výměně přístroje, který může být odlišně citlivý. Na základě dat Tuja Ašu tak můžeme pouze hádat k čemu na stanici došlo. Když vynecháme data před rokem 1996 a zbylá si vyobrazíme do grafu (graf č. 41), můžeme i na této stanici pozorovat zvyšující se trend teploty.

Dlouhodobá průměrná roční teplota je pro stanici Baitik rovna $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Absolutně nejteplejším rokem byl na stanici Baitik rok 1941, kdy byla naměřena průměrná roční teplota $8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Druhým rokem s nejvyšší průměrnou roční teplotou jsou roky 1915, kdy průměrná teplota byla $7,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. V letech 1963, 2010 a 2016 pak byla průměrná roční teplota $7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Absolutně nejchladnějším rokem byl rok 1920, kdy průměrná roční teplota byla pouhé $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Téměř o stupeň Celsia vyšší byla průměrná roční teplota v roce 1972, její hodnota je $4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalším velmi chladným rokem byl pak rok 1934 s průměrnou teplotou $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Amplituda mezi nejteplejším a nejchladnějším rokem je $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Na stanici Biškek je dlouhodobá průměrná teplota vyšší o více než $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a dosahuje hodnoty $10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Během nejteplejších let dosahovala průměrná roční teplota hodnoty $12,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato hodnota byla naměřena v letech 2004, 2006 a 2010. Nejchladnější roky na stanici Biškek mají vyšší teplotu než nejteplejší roky na stanici Baitik. V roce 1954 byla průměrná roční teplota $8,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalšími roky s nízkou průměrnou teplotou jsou roky 1969 a 1972, kdy byla teplota rovna $8,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ respektive $9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozdíl mezi rokem s nejvyšší a nejnižší průměrnou roční teplotou pak je $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je o $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ menší amplituda než na stanici Baitik.

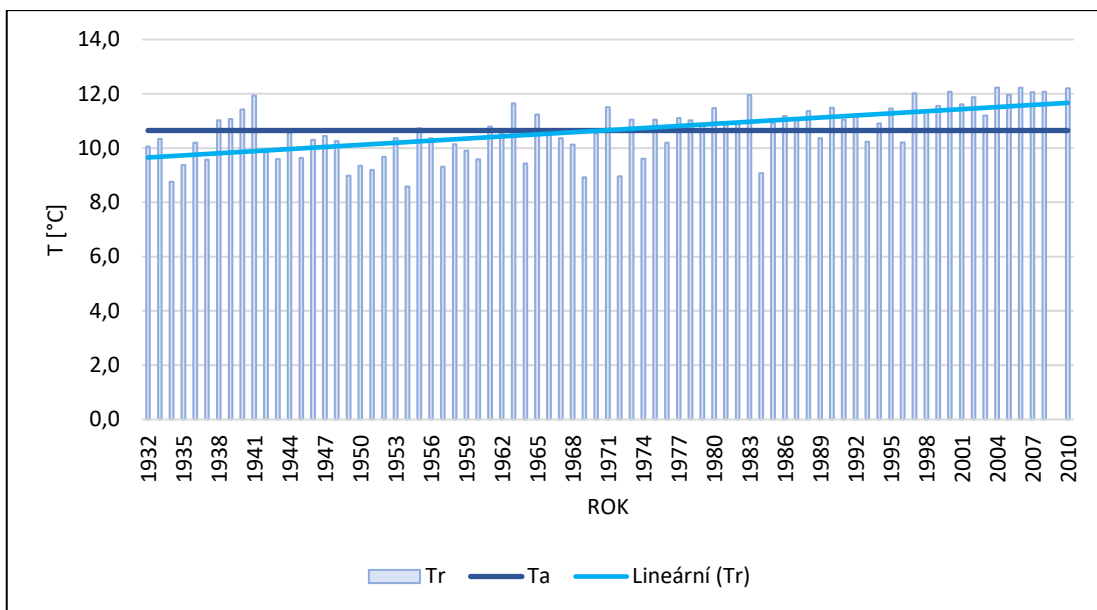
Dlouhodobá průměrná teplota na stanici Alplager je 3 °C. Nejvyšší průměrná roční teplota byla zaznamenána v roce 1990, jež měla hodnotu 3,9 °C. Druhým a třetím rokem jsou shodně se stejnou teplotou 3,8 °C roky 2006 a 2010. Naopak nejnižší průměrná roční teplota byla zaznamenána v nejextrémnějším roce na této stanici, v roce 1984 a pak také v roce 1996. Hodnota této průměrné teploty byla 1,7 °C. V letech 1988 a 1993 pak byla zaznamenána průměrná roční teplota 2 °C. Rozdíl mezi nejteplejším a nejchladnějším rokem je 2,2 °C.

Na základě dostupných dat byl nejteplejším rokem na stanici Tuja Ašu rok 1963, kdy průměrná roční teplota byla -0,3 °C. V letech 1973 a 1980 pak byla průměrná teplota -0,6 °C. Po obnovení funkčnosti stanice pak byla nejvyšší naměřená teplota v roce 2007, jejíž hodnota byla -0,8 °C. Nejnižší průměrnou roční teplotou je teplota -4,7 °C z roku 1996. Druhou nejnižší hodnotou, když nebereme v úvahu rok 1997 s chybnou dubnovou teplotou, je teplota -3,8 °C naměřená v roce 2014. Dlouhodobou průměrnou roční teplotou vypočítanou z dostupných dat je teplota -2,1 °C. Amplituda mezi rokem s nejvyšší a nejnižší průměrnou roční teplotou je 4,4 °C.



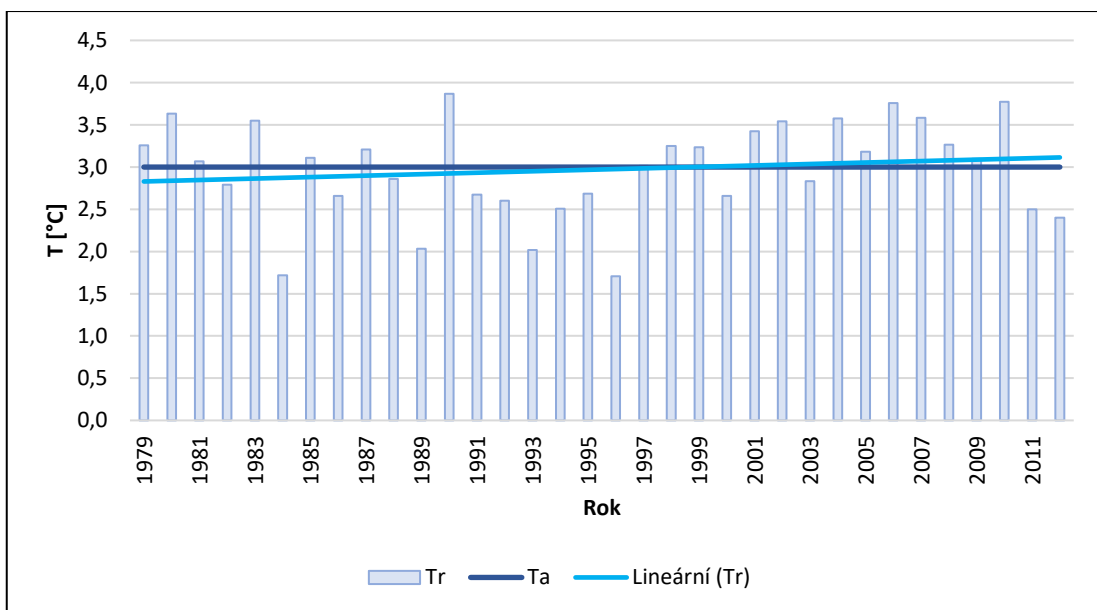
Graf č. 37: Roční průměrné teploty v letech 1915-2016 na stanici Baitik

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



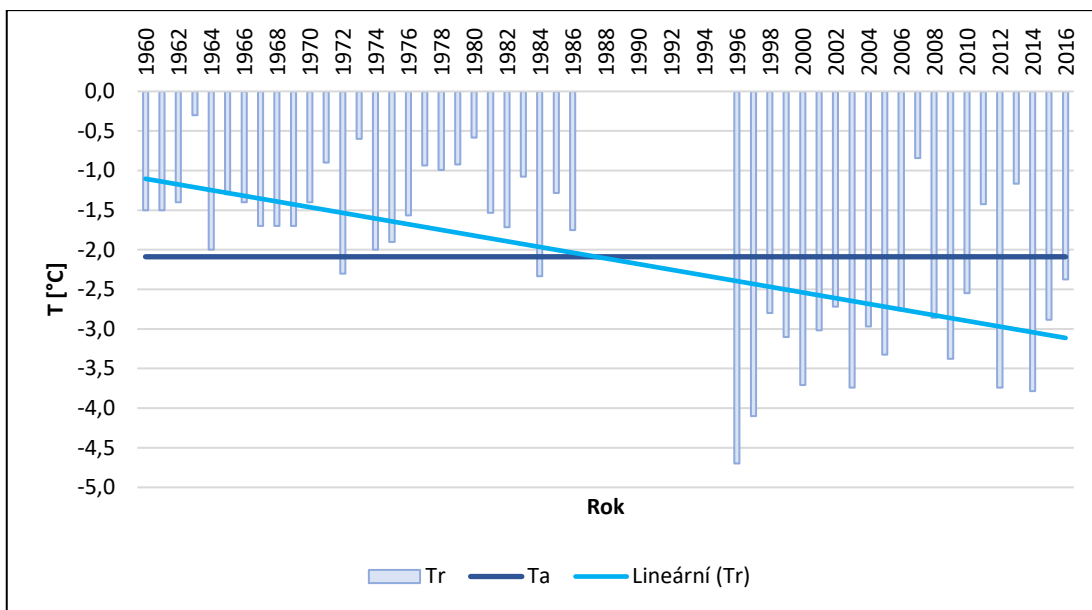
Graf č. 38: Roční průměrné teploty v letech 1932-2010 na stanici Biškek

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



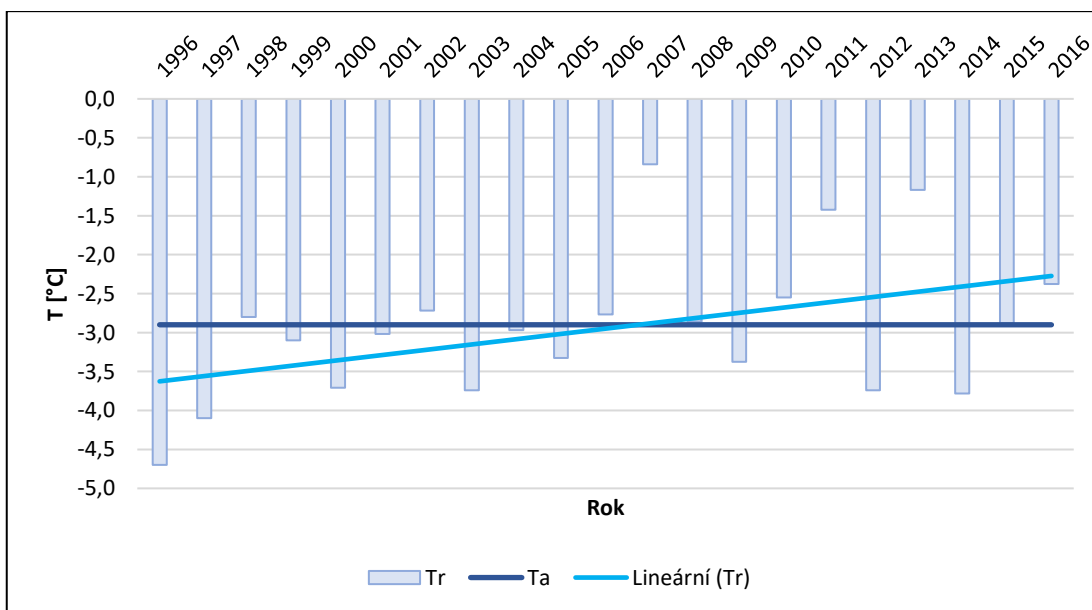
Graf č. 39: Roční průměrné teploty v letech 1979-2012 na stanici Alplager

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)



Graf č. 40: Roční průměrné teploty v letech 1960-2016 na stanici Tuja Aš

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)



Graf č. 41: Roční průměrné teploty v letech 1996-2016 na stanici Tuja Aš

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

6. HOMOGENITA V ČASOVÝCH ŘADÁCH

6.1 Homogenita dat průtoků

Na základě Mann-Whitney-Pettitova testu bylo zjištěno, že data průtoků na řece Ala-Arča jsou ve všech měsících i obdobích, které byly zkoumány, nehomogenní (tab. č. 8). Tento test nám určil hlavní body zlomu, ale dále pak zkoumal i homogenitu v řadách rozdělených tímto bodem zlomu a i v těchto dílčích řadách se v některých případech vyskytovala nehomogenita. Signifikance byla ve všech případech hluboko pod 5 %. Wilcoxonův dvouvýběrový test a Kruskal-Wallisův test nám tyto změny potvrdil, neboť i u něj vycházela p-hodnota výrazně menší než 5 %.

Roky změny se u měsíců od sebe liší, ale nejčastěji se vyskytuje změna v roce 1987 (duben, červen, září, říjen, listopad, prosinec) následována rokem 1985 (leden, únor) a 1986 (březen), na základě toho je možné říci, že pravděpodobně došlo k významné změně v druhé polovině 80. let 20. století. Při pohledu na roční období se nám toto období změny projevuje jen v zimě.

Při zkoumání relativní homogenity za pomoci Alexanderssonova testu byly řady měsíčních průtoků na řece Ala-Arče homogenní, když referenční řadou byly průměrné srážky za čtyř stanic. Pro sezónní řady byla nalezena jediná nehomogenita pro zimu. Když zvolenou referenční řadou byly zvoleny srážky na stanici Chon-Arik, jediná nehomogenita byla zjištěna v červenci. Na základě těchto údajů můžeme odvozovat, že řada průtoků řeky Ala-Arči je ovlivňována změnami v množství srážek.

Graf č. 42 nám pak ukazuje kumulované řady průtoků v červnu a v listopadu na řece Ala-Arča, kdy v červnu byl identifikován zlom pouze v roce 1987, kdežto v listopadu byly identifikovány rovnou tři – v letech 1987 (hlavní zlom), 1969 a 2005 (podružné zlomy). Pouhým okem by se mohlo zdát, že řady mají podobný průběh, a tudíž je rozdílnost zlomů překvapivá, ale právě k odstranění subjektivity je důležité používat statistické testy.

V případě zobrazení podvojných součtových čar pro zobrazení relativní homogenity (graf č. 43) byl jako příklad vybrán homogenní měsíc červenec a nehomogenní zimní období. Oproti jednoduchým součtovým čarám je jejich průběh více nevyhlazený, avšak i zde je patrné, že hodnoty v měsíci červenci se pohybují okolo lineární přímky. I když je průběh hodnot z období zimy více vyhlazený, jsou od lineární přímky více vzdáleny, jsou tedy dle statistické analýzy nehomogenní.

Tab. č. 8: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu a výsledky relativní homogenity Alexanderssonova testu pro řeku Ala-Alrču v jednotlivých obdobích

	n	kritická hodnota	testovací statistika K	Signifikance	Homogenita	Rok změny ⁶	Wilcoxon ⁷	Kruskal-Wallis	Alexandersson ref. ⁸	Alexandersson ChA ⁹
leden	88	586,616	1339	0,000	ne	1985 (1998)		ne		
únor	88	586,616	1309	0,000	ne	1985 (2009)		ne		
březen	88	586,616	1402	0,000	ne	1986 (2002)		ne		
duben	88	586,616	1439	0,000	ne	1987 (1952, 2000)		ne		
květen	88	586,616	1058	0,000	ne	1994	ne			
červen	88	586,616	989	0,000	ne	1987	ne			
červenec	88	586,616	1217	0,000	ne	1973	ne			ne
srpen	88	586,616	1071	0,000	ne	1975	ne			
září	88	586,616	1141	0,000	ne	1987	ne			
říjen	88	586,616	1381	0,000	ne	1987 (1956, 2006)		ne		
listopad	88	586,616	1481	0,000	ne	1987 (1969, 2005)		ne		
prosinec	88	586,616	1347	0,000	ne	1987 (2008)		ne		
Qr	88	586,616	1485	0,000	ne	1975 (1994)		ne		
Jaro	88	586,616	1737	0,000	ne	1993 (1967, 2000)		ne		
Léto	88	586,616	1321	0,000	ne	1975	ne			
Podzim	88	586,616	1545	0,000	ne	1969 (1969, 2006)		ne		
Zima	88	586,616	2139	0,000	ne	1987 (1975, 2008)		ne	ne	

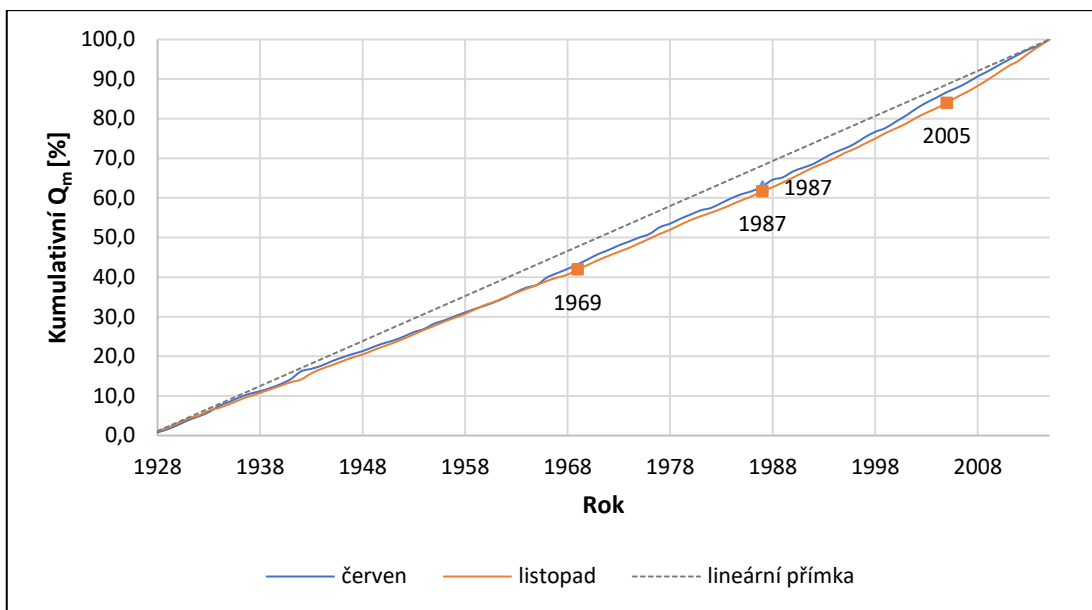
Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

⁶ V závorce jsou uvedeny podružné body zlomu z dílčích testů

⁷ Jedná se o Wilcoxonův dvouvýběrový test

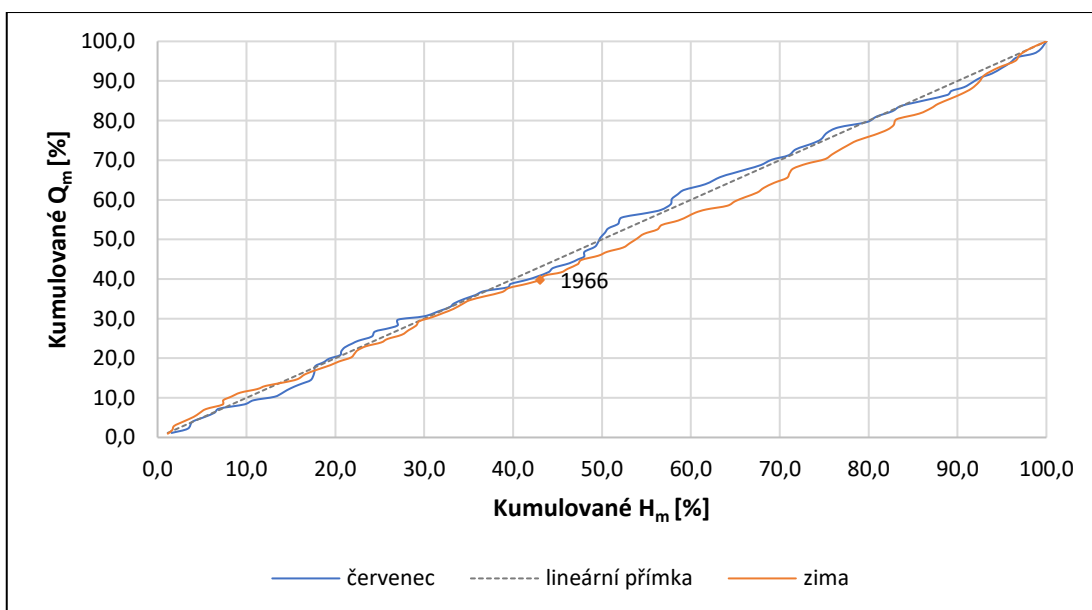
⁸ Alexandersson test, kdy referenční řadou je homogenní řada vytvořena průměrem srážek ze stanic Baitik, Biškek, Alplager a Chon-Arik

⁹ Alexandersson test, kdy referenční řadou je homogenní řada srážek ze stanice Chon-Arik



Graf č. 42: Jednoduchá součtová čára pro vybrané Q_m a jejich body zlomu pro řeku Ala-Arču

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



Graf č. 43: Podvojně součtové čáry pro vybrané časové řady se zobrazením bodu zlomu pro řeku Ala-Arču

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Měsíční průtoky řeky Alamedin jsou na základě absolutní homogenity taktéž nehomogenní kromě měsíce srpna, u kterého jediného vyšla p-hodnota vyšší než 0,05 (tab. č. 9).

Tytéž výsledky nám potvrdil i Wilcoxonův dvouvýběrový test a Kruskal-Wallisův test. Kromě měsíců květen, červen a červenec se hlavní bod zlomu nachází mezi roky 1989-1991, s převahou roku 1990 (březen, září, říjen, listopad, prosinec). Můžeme tedy tvrdit, že na přelomu 80. a 90. let 20. století došlo k významné změně v povodí.

I v rámci ročních období se jedná o řady nehomogenní, kdy nám jaro, podzim a zima potvrzují zlom na přelomu 80. a 90. let 20. století. V letním období byl zlom určen v roce 1966.

Co se týče relativní homogenity, tak v prvním případě nám Alexandersonův test (referenční řada tvořena aritmetickým průměrem ze stanic) našel nehomogenity v lednu, únoru, březnu a poté v zimě. Jedinou nehomogenitu v druhém případě (referenční řada tvořena homogenní řadou ze stanice Chon-Arik) byla nalezena stejně jako u řeky Ala-Arči v červenci.

Na grafu č. 44 (absolutní homogenita) je ukázán rozdíl mezi řadou homogenní a řadou nehomogenní v případě vybraných řad průtoků ze stanice Alamedin. Z grafu je jasně patrné, proč řada srpnů byla zvolena Mann-Whitney-Pettitovým testem jako homogenní, až na drobné odchylky se jedná o lineární přímku, kdežto u řady průtoků z března je odchylka jasně patrná, bod zlomu je zde v roce 1990.

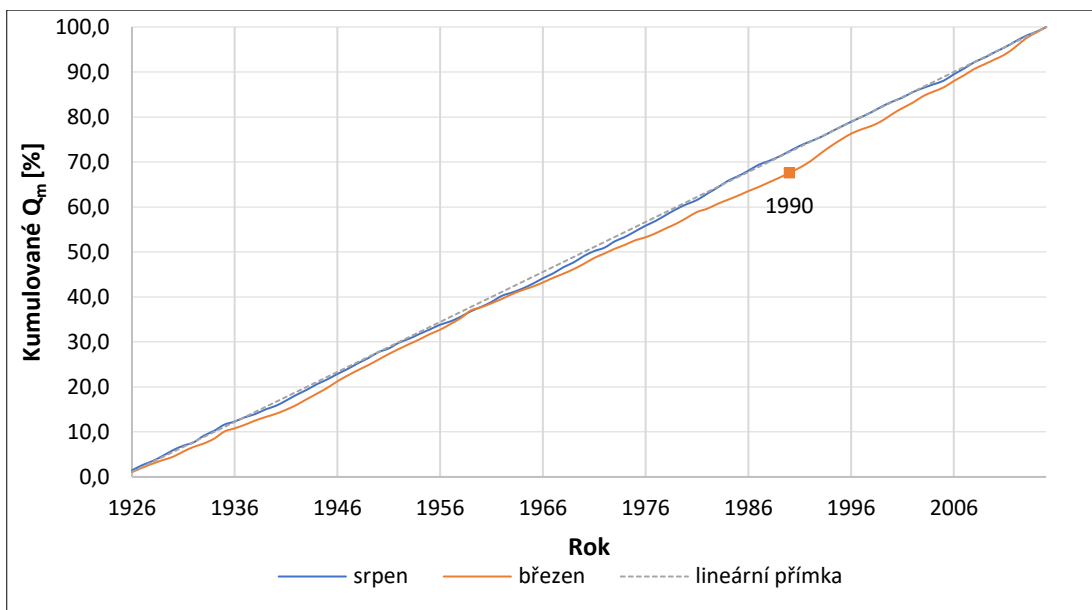
Pro stanici Alamedin byly vykresleny pro ukázkou podvojně součtové čáry pro březen a duben (graf č. 45). U měsíce března byl určen bod zlomu na začátku sledovaného období v roce 1933. Pouhým pohledem na graf je patrné, že časové řady jsou si velmi podobné, odlišují se více pouze na začátku časové řady, kdy dubnová řada téměř kopíruje lineární přímku. Bez použití statistických metod by na základě podvojných součtových čar došlo k určení bodu zlomu někde okolo roku 1988 pro oba měsíce, což by vedlo k chybě v homogenizaci.

Tab. č. 9: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu a výsledky relativní homogenity Alexanderssonova testu pro řeku Alamedin v jednotlivých obdobích¹⁰

	n	kritická hodnota	testovací statistika K	Signifikance	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon	Kruskal-Wallis	Alexandersson ref.	Alexandersson ChA
leden	90	606,651	983	0,000	ne	1991 (1943)		ne	ne	
únor	90	606,651	1013	0,000	ne	1989	ne		ne	
březen	90	606,651	994	0,000	ne	1990	ne		ne	
duben	90	606,651	1048	0,000	ne	1992 (1941)		ne		
květen	90	606,651	898	0,001	ne	1980 (2000)		ne		
červen	90	606,651	976	0,000	ne	1966 (2001)		ne		
červenec	90	606,651	957	0,001	ne	1973 (1988)		ne		ne
srpen	90	606,651	412	0,251	ano					
září	90	606,651	654	0,031	ne	1990	ne			
říjen	90	606,651	896	0,001	ne	1990	ne			
listopad	90	606,651	812	0,005	ne	1990	ne			
prosinec	90	606,651	764	0,009	ne	1990	ne			
Qr	90	606,651	978	0,000	ne	1968	ne			
Jaro	90	606,651	1320	0,000	ne	1992 (1941)		ne		
Léto	90	606,651	986	0,000	ne	1966	ne			
Podzim	90	606,651	972	0,000	ne	1990	ne			
Zima	90	606,651	1481	0,000	ne	1991 (1942, 2011)		ne	ne	

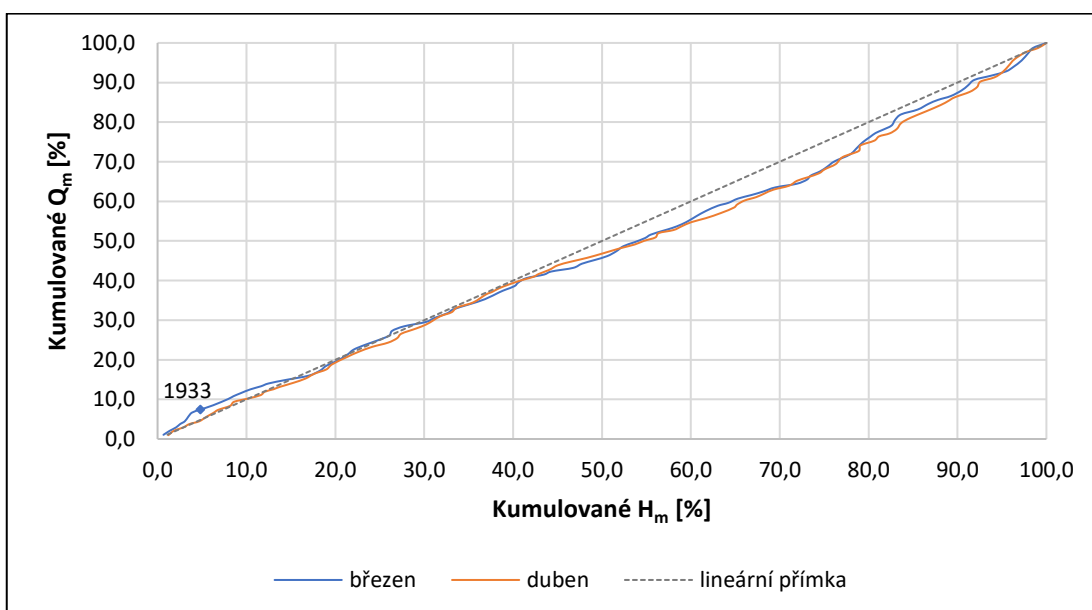
Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

¹⁰ Všechna dodatečná vysvětlení jsou popsána u tab. č. 8



Graf č. 44: Jednoduchá součtová čára pro vybrané Q_m a jejich body zlomu pro řeku Alamedin

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem



Graf č. 45: Podvojná součtová čára pro vybrané časové řady se zobrazením bodu zlomu pro řeku Alamedin

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

V rámci zkoumání absolutní homogenity se řeka Kara-Balta jeví nejhomogenněji ze všech zkoumaných řek (tab. č. 10). Homogenita byla zjištěna v květnu, červnu, červenci a září. Dále je homogenní řada průměrného ročního průtoku a v období léta. Při pohledu na hlavní body zlomu je patrné, že v letech 1987-1988 v povodí došlo ke změně. Všechny řady, které byly nehomogenní, určily jako hlavní rok zlomu právě rok 1987, výjimku tvoří měsíc srpen, který má rok 1987 pouze jako podřadný bod zlomu. Při ověřování homogenity Wilcoxonovým dvouvýběrovým testem a Kruskal-Wallisovým testem došlo opět k podpoření výsledků Mann-Whitney-Pettitova testu s výjimkou dat z období jara, které Wilcoxonový test určil jako homogenní.

Naopak při testování relativní homogenity bylo pro řeku Kara-Balta nalezeno nejvíce nehomogenit, když referenční řadou byl aritmetický průměr ze stanic. Nehomogenita byla objevena v lednu, únoru, březnu, červenci, Qr, v létě a v zimě. Alexandersson test (Chon Arik) pak objevil nehomogenitu v červenci jako u předchozích řek.

Tab. č. 10: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu a výsledky relativní homogenity Alexanderssonova testu pro řeku Kara-Baltu v jednotlivých obdobích¹¹

	n	kritická hodnota	testovací statistika K	Signifikance	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon	Kruskal-Wallis	Alexandersson ref.	Alexandersson ChA
leden	79	499,284	898	0,000	ne	1988 (1970)		ne	ne	
únor	79	499,284	880	0,000	ne	1988 (1960)		ne	ne	
březen	79	499,284	838	0,000	ne	1987 (1960, 1994)		ne	ne	
duben	79	499,284	610	0,011	ne	1987	ne			
květen	80	508,755	348	0,246	ano					
červen	79	499,284	482	0,061	ano					
červenec	77	480,523	322	0,260	ano				ne	ne
srpen	79	499,284	536	0,032	ne	1971 (1987)		ne		
září	78	489,874	424	0,106	ano					
říjen	76	471,232	474	0,048	ne	1987 (1968)		ne		
listopad	76	471,232	668	0,002	ne	1987 (1968)		ne		
prosinec	76	471,232	798	0,000	ne	1987 (1968)		ne		
Qr	75	462,002	422	0,082	ano				ne	
Jaro	76	471,232	516	0,028	ne	1987	ano			
Léto	76	471,232	328	0,234	ano				ne	
Podzim	76	471,232	662	0,003	ne	1987 (1968)				
Zima	76	471,232	1189	0,000	ne	1988 (1987)		ne	ne	

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

6.2 Homogenita dat srážek

Homogenita srážek byla stejně jako průtoky testována Mann-Whitney-Pettitovým testem, u kterého byly opět výsledky ověřovány Wilcoxonovým dvouvýběrovým zlomem v případě, že v řadě byl nalezen pouze jeden bod zlomu. V případě, že bylo určeno více zlomů, byl pro ověření použit Kruskal-Wallisův test, který umí pracovat s více rozděleními. V případě srážek byla zkoumána pouze absolutní homogenita.

V porovnání s průtoky byly řady srážek více homogenní a lámaly se až na výjimky pouze v jednom bodě. Na stanici Baitik byla zjištěna nehomogenita v lednu, únoru, březnu, listopadu a prosinci. V rámci sezónních období byla nehomogenita na podzim a v zimě. Vše můžeme vidět přehledně v tab. č. 11. Roky změn, které byly určeny, se od sebe liší, není zde možné říci jako v případě průtoků, že by došlo k nějaké významné změně, která by ovlivnila množství srážek.

¹¹ Všechna dodatečná vysvětlení jsou popsána u tab. č. 8

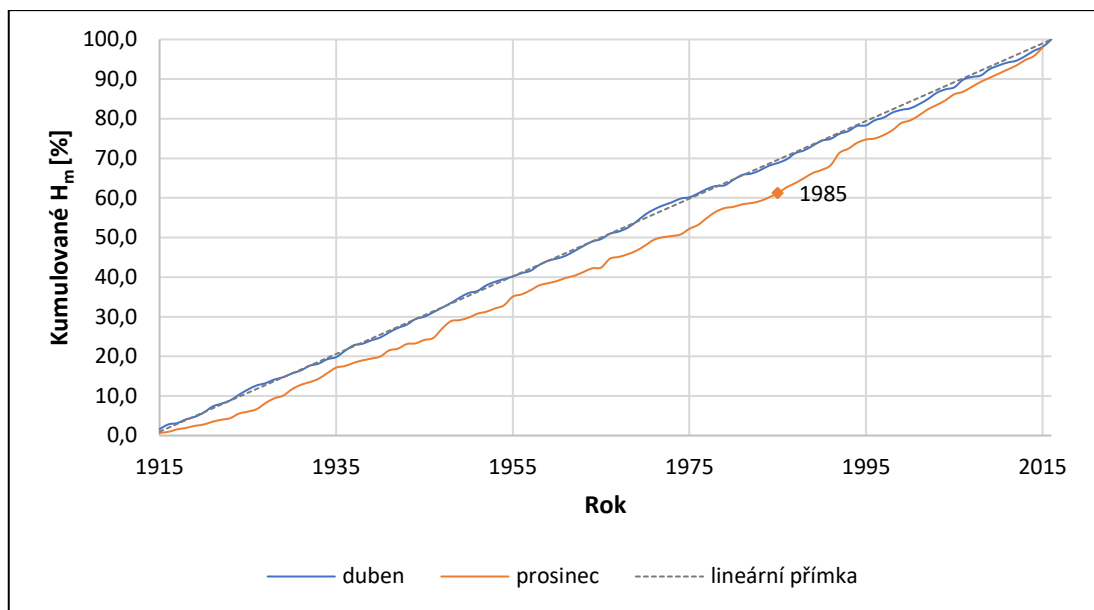
Výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu a Kruskal-Wallisova testu nám tyto homogenity potvrzují až na listopad, u kterého vyšla p-hodnota vyšší než 0,05.

V grafu č. 46 jsou zobrazeny jednoduché součtové čáry pro duben a prosinec ze stanice Baitik. Jasně homogenní průběh má křivka dubna, kdy téměř kopíruje lineární přímkou. To kumulativní množství srážek již je od lineární přímkou odchýleno doprava a nemá hladký průběh. Na základě statistické analýzy byl zde zvolen jako bod zlomu rok 1985.

Tab. č. 11: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu na stanici Baitik (1580 m n. m.)

	n	kritická hodnota	testovací statistika K	Signifikance	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon	Kruskal-Wallis
leden	102	731,467	1013	0,003	ne	1968 (1937)		ne
únor	102	731,467	899	0,011	ne	1958	ne	
březen	102	731,467	839	0,019	ne	1940	ne	
duben	102	731,467	228	0,747	ano			
květen	102	731,467	464	0,300	ano			
červen	102	731,467	423	0,367	ano			
červenec	102	731,467	368	0,468	ano			
srpen	102	731,467	427	0,360	ano			
září	102	731,467	479	0,277	ano			
říjen	102	731,467	535	0,201	ano			
listopad	102	731,467	806	0,026	ne	1957	ano	
prosinec	102	731,467	1136	0,001	ne	1985	ne	
Hr	102	731,467	729	0,051	ano			
Jaro	102	731,467	381	0,444	ano			
Léto	102	731,467	445	0,330	ano			
Podzim	102	731,467	738	0,047	ne	1999	ne	
Zima	102	731,467	1417	0,000	ne	1966	ne	

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodných problem, Monthly Observational Data Map (2017)



Graf č. 46: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m a jejich body zlomu pro stanici Baitik (1580 m n. m.)

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Ve srážkách naměřených na stanici Biškek (tab č. 12) se nacházejí nehomogenity v lednu, únoru a prosinci, což se v těchto měsících shoduje se stanicí Baitik. Pro leden je dokonce hlavní bod zlomu určen ve stejném roce (1968), ostatní roky se ale od sebe liší. Nehomogenita byla také zjištěna na jaře, na podzim a v zimě, ale když se podíváme na signifikanci jara, zjistíme, že zde nehomogenita byla zjištěna jen velmi těsně, kdežto u zimy je naopak signifikance téměř nulová (při zaokrouhlení na 3 desetinná místa je výsledek nulový).

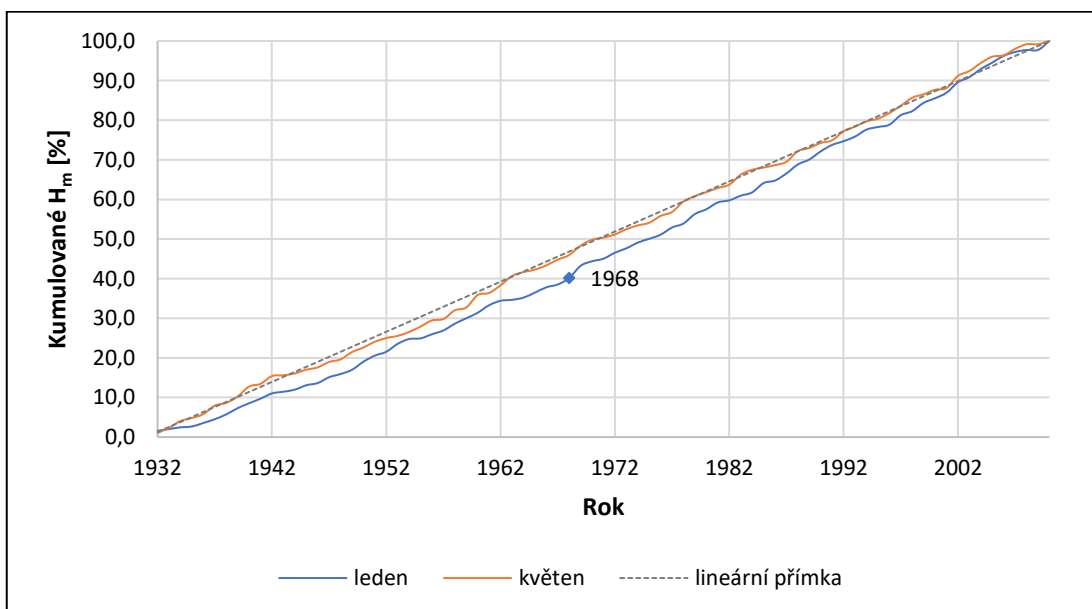
V případě dat srážek na stanici Biškek došlo ve všech řadách s nehomogenitou k lámání pouze v jednom místě a Wilcoxonův dvouvýběrový test tyto zlomy potvrdil.

Pro stanici Biškek byl vybrán měsíc leden jako nehomogenní řada a měsíc prosinec jako příklad homogenní řady (graf. č. 47). Homogenní prosincová řada má oproti jiným lehce nevyrovnaný průběh, křivku lineárního trendu úplně nekopíruje, nicméně Mann-Whitney-Pettit test žádnou nehomogenitu nenašel. Oproti lednové řadě, která má bod zlomu v roce 1968, se jeví více homogenně.

Tab. č. 12: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu na stanici Biškek (756 m n. m.)

	n	kritická hodnota	testovací statistika K	Signifikance	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon
leden	78	489,874	528	0,031	ne	1968	ne
únor	78	489,874	684	0,003	ne	1952	ne
březen	78	489,874	308	0,306	ano		
duben	78	489,874	442	0,087	ano		
květen	78	489,874	198	0,613	ano		
červen	78	489,874	370	0,181	ano		
červenec	78	489,874	242	0,481	ano		
srpen	78	489,874	461	0,070	ano		
září	78	489,874	223	0,538	ano		
říjen	78	489,874	248	0,464	ano		
listopad	78	489,874	380	0,165	ano		
prosinec	78	489,874	709	0,002	ne	1975	ne
Hr	78	489,874	656	0,005	ne	1958	ne
Jaro	78	489,874	496	0,046	ne	1958	ne
Léto	78	489,874	233	0,508	ano		
Podzim	78	489,874	515	0,036	ne	1961	ne
Zima	78	489,874	871	0,000	ne	1969	ne

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)



Graf č. 47: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m a jejich body zlomu pro stanici Biškek (756 m n. m.)

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

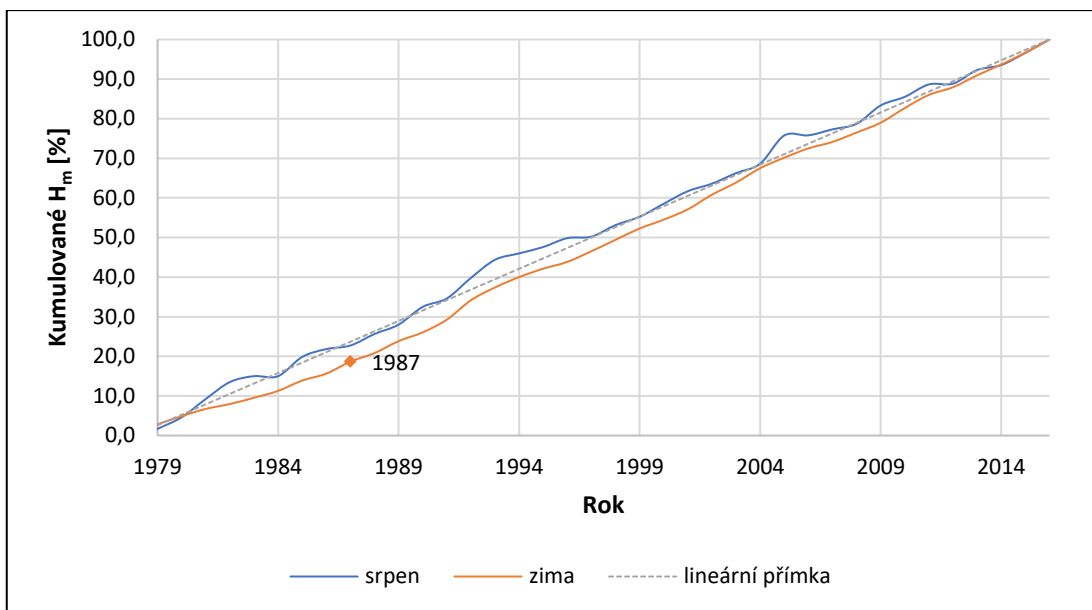
Srážkové řady v jednotlivých měsících na stanici Alplager byly na základě Mann-Whitney-Pettitova testu všechny určeny jako homogenní (tab. č. 13) Nehomogenita byla zjištěna pouze v zimě, kde se řada láme v roce 1987, p-hodnota je 0,043. Tato nehomogenita také byla potvrzena Wilcoxonovým dvouvýběrovým testem.

Při pohledu na graf č. 48 jsou výsledky Mann-Whitney-Pettitova testu překvapivé, neboť pouhým okem se zdá průběh zimní časové řady vyrovnanější, tedy homogenní. Ovšem vyrovnanější průběh nám nezaručuje homogenitu a jelikož je zde viditelná odchylka od lineární přímky, bod zlomu byl zvolen v roce 1987. Podle Mann-Whitney-Pettitova testu homogenní lednová časová řada má sice drobné odchylky od lineární přímky, ale ty nám použitá statistická metoda vyhodnotila jako zanedbatelné.

Tab. č. 13: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu na stanici Alplager (2428 m n. m.)

	n	kritická hodnota	testovací statistika K	Signifikance	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon
leden	38	167,684	122	0,205	ano		
únor	38	167,684	122	0,205	ano		
březen	38	167,684	120	0,216	ano		
duben	38	167,684	86	0,455	ano		
květen	38	167,684	77	0,532	ano		
červen	38	167,684	143	0,113	ano		
červenec	38	167,684	118	0,227	ano		
srpen	38	167,684	63	0,655	ano		
září	38	167,684	123	0,200	ano		
říjen	38	167,684	79	0,514	ano		
listopad	38	167,684	98	0,359	ano		
prosinec	38	167,684	136	0,139	ano		
Hr	38	167,684	67	0,620	ano		
Jaro	38	167,684	112	0,263	ano		
Léto	38	167,684	141	0,120	ano		
Podzim	38	167,684	124	0,194	ano		
Zima	38	167,684	172	0,043	ne	1987	ne

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)



Graf č. 48: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m a jejich body zlomu pro stanici Alplager (2428 m n. m.)

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 14: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu na stanici Ala-Arča (2953 m n. m.)

	n	kritická hodnota	testovací statistika K	Signifikance	Homogenita	Rok změny
leden	13	34,370	14	0,608	ano	
únor	13	34,370	14	0,608	ano	
březen	13	34,370	24	0,232	ano	
duben	13	34,370	24	0,232	ano	
květen	13	34,370	20	0,363	ano	
červen	13	34,370	24	0,232	ano	
červenec	13	34,370	26	0,180	ano	
srpen	13	34,370	14	0,608	ano	
září	13	34,370	18	0,440	ano	
říjen	13	34,370	10	0,776	ano	
listopad	13	34,370	12	0,694	ano	
prosinec	13	34,370	26	0,180	ano	
Hr	13	34,370	40	0,017	ne	1966
Jaro	13	34,370	30	0,102	ano	
Léto	13	34,370	24	0,232	ano	
Podzim	13	34,370	12	0,694	ano	
Zima	13	34,370	16	0,522	ano	

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

Na stanici Ala-Arča stejně jako u stanice Alplager byla zjištěna pouze jedna nehomogenita v datech, pro tuto stanici to ale je v průměrném úhrnu srážek za rok (tab. č. 14). Testování homogenity na této stanici však není zcela relevantní, a to z důvodu příliš krátké časové řady, která zahrnuje pouze 13 let. V takto krátkém časovém období je homogenita/nehomogenita téměř nezjistitelná. Z důvodu příliš krátké časové řady nebyl ani proveden ověřovací Wilcoxonův dvouvýběrový test, který pro předpoklad normálního rozdělení potřebuje, aby obě řady obsahovaly alespoň 11 hodnot.

Ze zkoumaných řad průtoků, srážek i teplot byla zjištěna homogenita ve všech datech jen pro srážky na stanici Chon-Arik, z tohoto důvodu byla tato stanice zvolena jako referenční řada pro relativní homogenizaci dat průtoků. Výsledky Mann-Whitney-Pettitova testu můžeme vidět v tab. č. 15.

Tab. č. 15: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu na stanici Chon-Arik (1108 m n. m.)

	n	kritická hodnota	testovací statistika K	Signifikance	Homogenita
leden	48	237,419	106	0,550	ano
únor	48	237,419	195	0,133	ano
březen	48	237,419	140	0,353	ano
duben	48	237,419	114	0,501	ano
květen	48	237,419	138	0,363	ano
červen	48	237,419	157	0,270	ano
červenec	47	230,088	104	0,542	ano
srpen	46	222,835	115	0,450	ano
září	46	222,835	126	0,384	ano
říjen	46	222,835	163	0,201	ano
listopad	46	222,835	85	0,647	ano
prosinec	46	222,835	148	0,267	ano
Hr	46	222,835	206	0,077	ano
Jaro	46	222,835	164	0,197	ano
Léto	46	222,835	130	0,361	ano
Podzim	46	222,835	181	0,139	ano
Zima	46	222,835	196	0,099	ano

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

V tab. č. 16 pak můžeme vidět výsledky absolutní homogenity pro stanici Tuja Ašu, na které bylo nalezeno sedm nehomogenit a to v měsících únor, červen, červenec a prosinec, v ročních obdobích léto a zima a také v průměrném úhrnu ročních srážek. Oproti předchozím srážkoměrným stanicím zde můžeme vidět shodu v letech změny, kromě června a prosince došlo v nehomogenních řadách ke změně na začátku 21. století (2000, 2001). I v tomto případě byly nehomogenity potvrzeny kontrolními testy.

Tab. č. 16: Výsledky absolutní homogenity Mann-Whitney-Pettitova testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu nebo Kruskal-Wallisova testu na stanici Tuja-Ašu (3225 m n. m.)

	n	kritická hodnota	testovací statistika K	Signifikance	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon	Kruskal-Wallis
leden	44	208,562	176	0,118	ano			
únor	45	215,659	242	0,023	ne	2001 (2012)		ne
březen	43	201,544	168	0,125	ano			
duben	42	194,607	165	0,116	ano			
květen	45	215,659	74	0,703	ano			
červen	44	208,562	218	0,038	ne	2005	ne	
červenec	45	215,659	256	0,015	ne	2000	ne	
srpen	46	222,835	129	0,366	ano			
září	45	215,659	156	0,209	ano			
říjen	44	208,562	152	0,204	ano			
listopad	43	201,544	126	0,310	ano			
prosinec	43	201,544	222	0,026	ne	1986	ne	
Hr	37	161,165	148	0,001	ne	2000	ne	
Jaro	42	194,607	167	0,110	ano			
Léto	43	201,544	262	0,006	ne	2000	ne	
Podzim	42	194,607	159	0,135	ano			
Zima	42	194,607	272	0,003	ne	2001	ne	

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

6.3 Homogenita dat teplot

Ke zjištění homogenity teplot byl použit test, který v programu AnClim nese název SNHT test – Single series (Shift). Jako kontrolní test zde byl opět zvolen Wilcoxonův dvouvýběrový test homogenity. Hladina významnosti zde také byla 5 % a signifikance se určovala na základě tab. č. 17.

Tab. č. 17: Úroveň signifikance pro SNHT test s hladinou významnosti 5 %

n	level signifiknce
10	5,7
20	6,95
40	8,1
60	8,65
80	8,95
100	9,15
150	9,35

Zdroj: AnClim

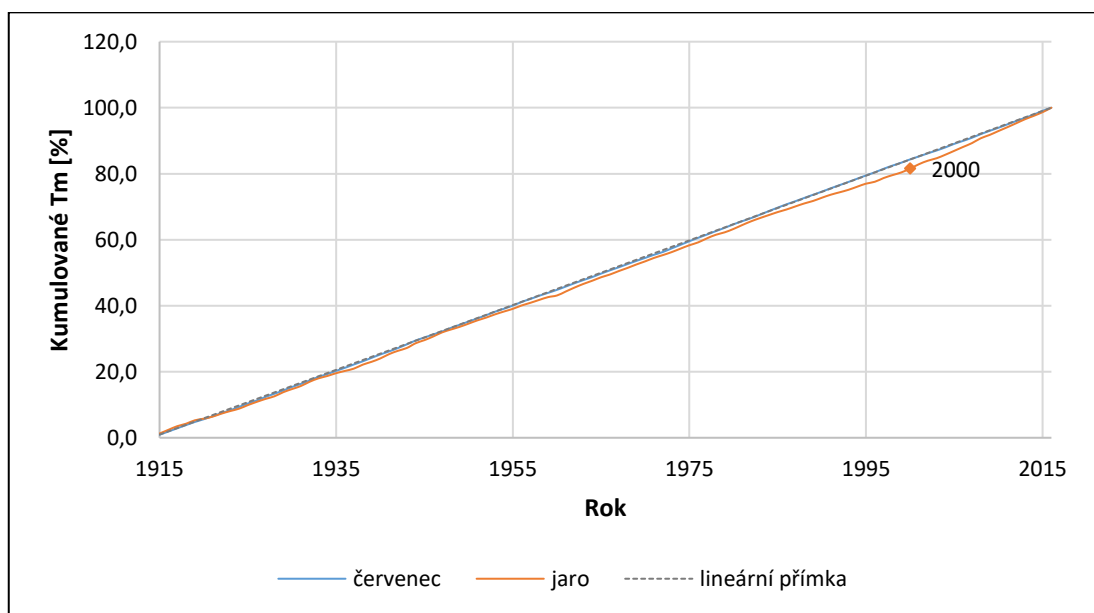
Na stanici Baitik byla za pomoci SNHT testu zjištěna nehomogenita v měsíci březnu a listopadu, v jarním období a v průměrné roční teplotě. Roky zlomu se ve všech případech liší, pouze v měsíci březnu spolu s obdobím jara můžeme hledat propojenost, jelikož rok zlomu se liší pouze o jeden rok (tab. č. 18). Wilcoxonový dvouvýběrový test nám tyto nehomogenity potvrzuje.

Tab. č. 18: Výsledky absolutní homogenity SNHT testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova testu na stanici Baitik (1580 m n. m.)

	n	testovací statistika K	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon
leden	102	6,872	ano		
únor	102	3,703	ano		
březen	102	12,656	ne	2001	ne
duben	102	5,656	ano		
květen	102	6,354	ano		
červen	102	8,162	ano		
červenec	102	5,737	ano		
srpen	102	7,331	ano		
září	102	5,995	ano		
říjen	102	5,084	ano		
listopad	102	12,238	ne	1963	ne
prosinec	102	8,015	ano		
Hr	102	11,813	ne	1938	ne
Jaro	102	16,394	ne	2000	ne
Léto	102	7,436	ano		
Podzim	102	6,701	ano		
Zima	102	8,206	ano		

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Na ukázkou homogenity teplot pomocí jednoduché součtové čáry byl vybrán červenec, který je podle Mann-Whitney-Pettitova testu homogenní. Totéž nám dokládá i jednoduchá součtová čára, neboť kumulativní hodnota teplot nám více méně překrývá lineární přímku. To v případě nehomogenní řady z období jara je vidět odchylka v druhé polovině časové řady, ve které byl objeven bod zlomu v roce 2000 (graf č. 49).



Graf č. 49: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m a jejich body zlomu pro stanici Baitik (1580 m n. m.)

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Oproti stanici Baitik bylo na stanici Biškek (tab. č. 19) nalezeno mnohem více nehomogenit. Nehomogenita byla nalezena v měsíci březnu, červnu, srpnu, září, říjnu, listopadu a prosinci, dále byla nalezena ve všech ročních obdobích a i v průměrné roční teplotě. Roky zlomu opět nejsou shodné, nejsou ani podobné mezi měsíci a příslušnými obdobími, jedinou výjimkou tvoří měsíc březen a jaro, u kterých byl bod zlomu určen v roce 2000. Výsledky Mann-Whitney-Pettitova testu nám potvrzuje Wilcoxonův dvouvýběrový test pro jeden zlom a Kruskal-Wallisův test pro dva zlomy.

Zajímavá je shoda nehomogenit na stanicích Baitik a Biškek, jelikož v listopadu a na jaře byl na obou stanicích detekován stejný rok, v případě března se jedná pouze o rok rozdílu, což může být způsobeno i výběrem použité statistické metody. Mohlo by to tedy vézt k závěru, že

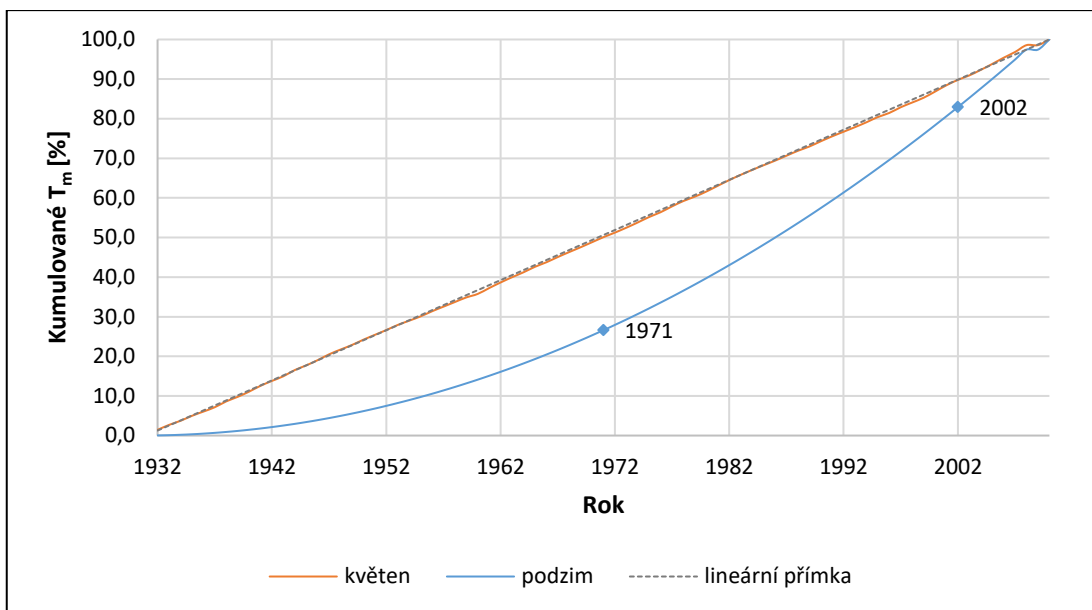
v těchto letech a obdobích došlo k rozsáhlejším změnám teplot, které byly zaznamenány na více stanicích.

Na grafu č. 50 jsou zobrazeny kumulativní součty za květen a podzim. Květen je opět bez jakýchkoliv odchylek homogenní, ale podzim je v tomto případě jasně nehomogenní, odchylka od lineární přímky je oproti jiným řadám, které též byly nehomogenní, obrovská. V řadě byl na základě Mann-Whitney-Pettitova testu určen hlavní bod zlomu do roku 1971 a podružný do roku 2002.

Tab. č. 19: Výsledky absolutní homogenity SNHT testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu a Kruskal-Wallisova testu na stanici Biškek (756 m n. m.)

	n	testovací statistika K	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon	Kruskal-Wallis
leden	78	8,338	ano			
únor	78	4,265	ano			
březen	78	16,165	ne	2000	ne	
duben	78	5,862	ano			
květen	78	5,326	ano			
červen	78	10,798	ne	2000	ne	
červenec	78	6,953	ano			
srpen	78	18,324	ne	1983	ne	
září	78	16,677	ne	1975	ne	
říjen	78	9,575	ne	1997	ne	
listopad	78	18,703	ne	1963	ne	
prosinec	78	9,481	ne	1961	ne	
Hr	78	27,966	ne	1977 (1997)		ne
Jaro	78	17,924	ne	2000	ne	
Léto	78	18,022	ne	1973	ne	
Podzim	78	23,832	ne	1971 (2002)		ne
Zima	78	12,695	ne	1985	ne	

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)



Graf č. 50: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m a jejich body zlomu pro stanici Biškek (756 m n. m.)

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

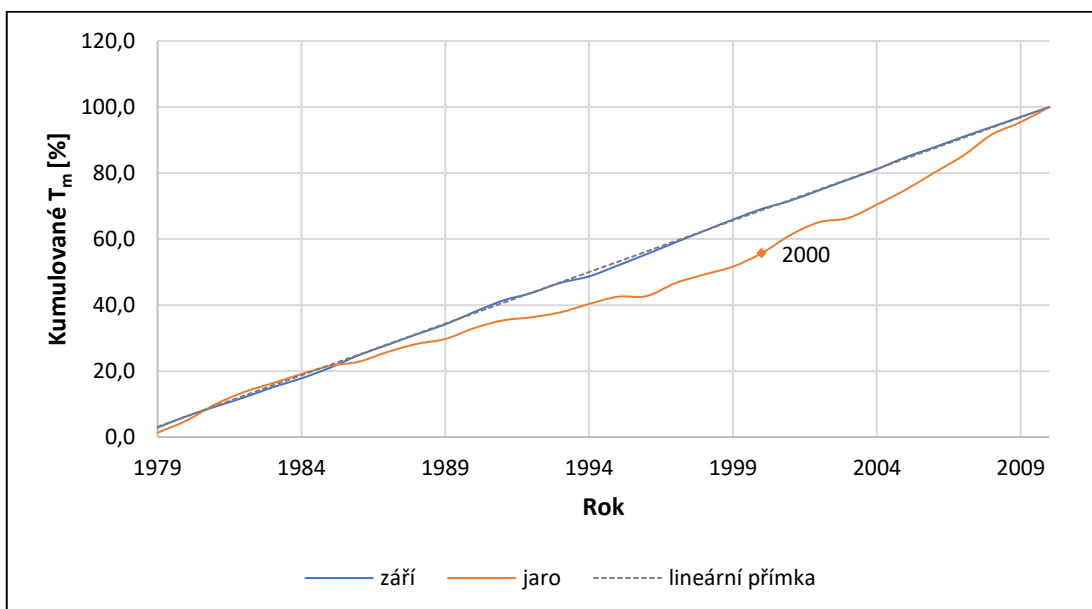
Tab. č. 20 nám ukazuje zjištěné nehomogenity v teplotách na stanici Alplager. Co se týče teplot, je to stanice, kde bylo zjištěno nejméně nehomogenit. Nehomogenity byly zjištěny pouze v březnu a na jaře, což se shoduje se stanicemi Biškek a Baitik a pak také ještě v měsíci srpnu. I v tomto případě byly výsledky podloženy výsledky na základě Wilcoxonova dvouvýběrového testu.

Pro stanici Alplager byly vybrány ukázkové jednoduché součtové čáry pro září a jaro (graf. č. 51). Průběh křivky pro jarní kumulované teploty je rozkolísán a vzdálen od lineární přímky. Bez statistických metod bychom snadno mohli zaměnit bod zlomu v roce 2000 s rokem 1996, tento rok ale Mann-Whitney, Pettit test nezohlednil.

Tab. č. 20: Výsledky absolutní homogenity SNHT testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu na stanici Alplager (2428 m n. m.)

	n	testovací statistika K	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon
leden	32	2,556	ano		
únor	32	2,514	ano		
březen	32	15,199	ne	2001	ne
duben	32	3,261	ano		
květen	32	4,618	ano		
červen	32	4,581	ano		
červenec	32	7,828	ne	1987	ne
srpen	32	2,637	ano		
září	32	1,446	ano		
říjen	32	3,762	ano		
listopad	32	0,841	ano		
prosinec	32	2,244	ano		
Hr	34	4,335	ano		
Jaro	32	12,176	ne	2000	ne
Léto	32	3,544	ano		
Podzim	32	3,441	ano		
Zima	32	1,152	ano		

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)



Graf č. 51: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m a jejich body zlomu pro stanici Alplager (2428 m n. m.)

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

V případě stanice Tuja Ašu (tab. č. 21) nám výsledky Mann-Whitney-Pettitova testu a Wilcoxonova dvouvýběrového testu potvrzují domněnku, která byla popsána v kap. č. 5.2. Je zde jasně patrné, že došlo ke změně v období, kdy stanice přestala v roce 1986 měřit a období, kdy opět měřit začala. Nehomogenita s bodem zlomu v roce 1986 byla zaznamenána v květnu, červnu a v létě, v roce 1985 nebo 1984 pak ještě v srpnu a prosinci. Překvapující je ale i velké množství homogenních řad. Opakujícím se rokem, ve kterém došlo ke zlomu, je rok 1996, kdy byla zjištěna nehomogenita v lednu, červenci a v průměrných ročních teplotách. Bod zlomu tak byl umístěn buď na konec období před výpadkem stanice, nebo naopak do roku, kdy stanice opět začala měřit.

Tab. č. 21: Výsledky absolutní homogenity SNHT testu a porovnání s výsledky Wilcoxonova dvouvýběrového testu na stanici Tuja Ašu (3225 m n. m.)

	n	testovací statistika K	Homogenita	Rok změny	Wilcoxon
leden	32	11,24	ne	1996	ne
únor	32	1,785	ano		
březen	32	3,906	ano		
duben	31	8,158	ano		
květen	32	8,79	ne	1986	ne
červen	32	11,135	ne	1986	ne
červenec	32	16,718	ne	1996	ne
srpen	32	9,092	ne	1985	ne
září	32	3,447	ano		
říjen	32	6,955	ano		
listopad	32	4,503	ano		
prosinec	32	15,313	ne	1984	ne
Hr	48	25,002	ne	1996	ne
Jaro	32	7,537	ano		
Léto	32	17,998	ne	1986	ne
Podzim	32	2,292	ano		
Zima	32	8,021	ano		

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

6.4 Shrnutí

Pro data průtoků ze stanic Ala-Arča, Alamedin a Karabalta byly provedené analýzy homogenity dat jak absolutními, tak relativními metodami. Relativní testy homogenity pak byly použity i na data o srážkách a teplotách ze všech dostupných stanic. Hladina významnosti byla pro všechny testy zvolena na 0,05.

Výsledky Mann-Whitney-Pettitova testu a SHNT testu se shodovaly s Wilcoxonovým dvouvýběrovým testem a Kruskal-Wallisovým testem ve všech nehomogenitách s výjimkou průtoku jarního období na stanici Alamedin a v datech srážek na stanici Baitik v měsíci listopadu, ve kterém Mann-Whitney-Pettit test našel nehomogenitu, ale Wilcoxonův dvouvýběrový test jí nepotvrdil. Ve všech případech pak ale musela být nulová hypotéza zamítnuta kvůli nízké signifikanci.

U všech třech řek byla nalezena nehomogenita v červenci za pomoci Alexanderssonova testu s referenční řadou homogenních řad srážek ze stanice Chon Arik. To, že se výsledky takto shodovaly, může být spojeno se změnou v tomto měsíci tohoto roku, ale také to může být ovlivněné zvolenou referenční řadou, i když Mann-Whitney-Pettit test vypočítal pro červenec na stanici Chon-Arik signifikanci 0,542.

U všech třech řek můžeme určit období, ve kterém došlo ke změně v odtoku, řeka Ala-Arča a Kara-Balta se shodují, že toto období je okolo roku 1987. Řeka Alamedin jej pak má posunutý o 3 roky později a určuje jej okolo roku 1990.

Na základě porovnání bodů zlomu průtoků a srážek není možné vyvozovat závěry o vzájemném ovlivnění, jelikož roky zlomů se od sebe liší, ovšem to nám nepotvrzuje relativní test homogenity, díky němuž nehomogenní data průtoků jsou při korelaci se srážkami mnohem více homogenní.

Nehomogenita v řadách průtoků byla zjištěna častěji než v případě srážek a teplot. U srážek pak ale jsou roky změn více rozházené, kromě stanice Tuja Ašu nelze říci, že by pro danou stanici došlo ke změně v nějakém určitém období.

Tři ze čtyř teplotních stanic nám potvrzují zlom v březnu a na jaře na začátku 21. století, jediná stanice Tuja Ašu má tyto dvě časové řady homogenní. Stanice Baitik a Biškek se pak také shodují na změně teplot v měsíci listopadu, kde nám testy určily bod zlomu v roce 1963.

7. TRENDY V ČASOVÝCH ŘADÁCH

7.1 Trend v datech průtoků

Trendy v datech průtoků byly zjišťovány jak pro celé řady, tak i pro jejich části rozdělené prvním bodem zlomu. V případě, že testy homogenity objevily, že řada dat je homogenní, byl trend zjišťován pouze v celé časové řadě.

Na stanici Ala-Arča byl zjištěn pouze trend rostoucí (tab č. 22). Pro celé časové řady byl trend ve všech měsících i obdobích rostoucí, signifikance byla vždy pod 0,05. V případě částí řady byl v první polovině dat, tedy od roku 1928 do bodu zlomu, nalezen trend pouze v listopadu, u ostatních měsíců nebyla zjištěna statistická významnost trendu. V částech časové řady od bodu zlomu do konce řady (rok 2015) byl zjištěn rostoucí trend ve všech měsících a obdobích s výjimkou května, června, července, srpna, září a léta. Na základě těchto údajů můžeme říci, že na řece Ala-Arče dochází k nárůstu průtoků v posledních desítkách let, s výjimkou letního období.

U řeky Alamedin (tab č. 23) byl nalezen zvyšující se trend v celých řadách kromě srpna, listopadu a prosince ve všech měsících a i v ročních obdobích. V listopadu a prosinci dokonce Mann-Kendallův test nenalezl žádný trend ani v celé časové řadě, ani v řadách rozdělených bodem zlomu. V první polovině časové řady od roku 1926 po bod zlomu nebyl nalezen podobně jako na řece Ala-Arča žádný trend. Avšak na řece Alamedin nebyl ve většině případů nalezen trend ani ve druhé polovině časové řady, tedy od bodu zlomu do roku 2015. Stoupající trend byl nalezen pouze v měsíci červenci, kdy byla signifikance těsně pod 0,05. V měsíci červenci pak byl zaregistrován pokles. K nárůstu průtoků tedy dochází pozvolna, neboť jej lze zachytit pouze v dlouhých časových řadách, pro části časové řady již není statisticky významný.

Výsledky řeky Kara-Balty jsou oproti dvěma předchozím řekám zcela odlišné, což není překvapivé, neboť řeka Kara-Balta je řeka s jiným režimem odtoku. Výsledky můžeme vidět v tab. č. 24. V celých časových řadách tak nenalezneme žádný trend ani v jednom měsíci či období, nejbližší tomu ale jsou měsíce červen a srpen, ve kterých byla signifikance 0,062 respektive 0,069. V měsících a řadách, ve kterých byla nalezena nehomogenizace, byl v první polovině od roku 1927 do bodu zlomu nalezen trend v měsících únoru, březnu, dubnu, říjnu, listopadu, prosinci a v období jara, podzimu a zimy. Tento trend je ve všech případech klesající, tedy v minulosti docházelo k poklesu průtoků na řece Kara-Baltě. Ve druhé polovině časové řady byl nalezen signifikantní pokles pouze v lednu, v ostatních případech nebyl zjištěn statisticky významný trend.

Tab. č. 22: Detekce trendu pomocí Mann-Kendalova testu na průtocích řeky Ala-Arči

	n	roky	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	88	1928-2015	0,306	0,000	↗
	57	1928-1984	0,060	0,516	-
	31	1985-2015	0,43	0,001	↗
únor	88	1928-2015	0,283	0,000	↗
	57	1928-1984	0,054	0,557	-
	31	1985-2015	0,343	0,008	↗
březen	88	1928-2015	0,276	0,000	↗
	58	1928-1985	0,07	0,445	-
	30	1986-2015	0,369	0,005	↗
duben	88	1928-2015	0,376	0,000	↗
	59	1928-1986	0,117	0,200	-
	29	1987-2015	0,519	0,000	↗
květen	88	1928-2015	0,312	0,000	↗
	66	1928-1993	0,09	0,290	-
	22	1994-2015	0,114	0,487	-
červen	88	1928-2015	0,33	0,000	↗
	59	1928-1986	0,12	0,184	-
	29	1987-2015	0,095	0,489	-
červenec	88	1928-2015	0,286	0,000	↗
	45	1928-1972	-0,078	0,460	-
	43	1973-2015	0,02	0,862	-
srpen	88	1928-2015	0,303	0,000	↗
	47	1928-1974	0,011	0,925	-
	41	1975-2015	0,09	0,421	-
září	88	1928-2015	0,336	0,000	↗
	59	1928-1986	0,078	0,391	-
	29	1987-2015	0,122	0,374	-
říjen	88	1928-2015	0,047	0,000	↗
	59	1928-1986	0,253	0,005	-
	29	1987-2015	0,291	0,031	↗
listopad	88	1928-2015	0,047	0,000	↗
	59	1928-1986	0,227	0,012	↗
	29	1987-2015	0,619	0,000	↗
prosinec	88	1928-2015	0,371	0,000	↗
	59	1928-1986	0,124	0,171	-
	29	1987-2015	0,418	0,002	↗
Qr	88	1928-2015	0,446	0,000	↗
	47	1928-1974	0,04	0,705	-
	41	1975-2015	0,369	0,001	↗
jaro	88	1928-2015	0,378	0,000	↗
	65	1928-1992	0,127	0,140	-
	23	1993-2015	0,446	0,004	↗
léto	88	1928-2015	0,376	0,000	↗
	41	1928-1974	0,055	0,560	-
	47	1975-2015	0,146	0,188	-
podzim	88	1928-2015	0,415	0,000	↗
	41	1928-1968	0,015	0,898	-
	47	1969-2015	0,0372	0,000	↗
zima	88	1928-2015	0,291	0,000	↗
	59	1928-1986	0,073	0,421	-
	29	1987-2015	0,36	0,007	↗

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 23: Detekce trendu pomocí Mann-Kendalova testu na průtocích řeky Alamedin

	n	roky	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	90	1926-2015	0,185	0,010	↗
	65	1926-1990	0,047	0,582	-
	25	1991-2015	0,043	0,785	-
únor	90	1926-2015	0,167	0,021	↗
	63	1926-1988	-0,013	0,884	-
	27	1989-2015	0,003	1,000	-
březen	90	1926-2015	0,159	0,027	↗
	64	1926-1989	0,004	0,972	-
	26	1990-2015	-0,06	0,691	-
duben	90	1926-2015	0,21	0,004	↗
	66	1926-1991	0,031	0,717	-
	24	1992-2015	0,02	0,916	-
květen	90	1926-2015	0,223	0,002	↗
	54	1926-1979	-0,036	0,707	-
	36	1980-2015	0,217	0,069	-
červen	90	1926-2015	0,276	0,000	↗
	40	1926-1965	-0,069	0,545	-
	50	1966-2015	0,198	0,046	↗
červenec	90	1926-2015	0,148	0,040	↗
	47	1926-1972	-0,07	0,500	-
	43	1973-2015	-0,224	0,035	↘
srpen	90	1926-2015	0,06	0,405	-
září	90	1926-2015	0,159	0,028	↗
	64	1926-1989	0,009	0,924	-
	26	1990-2015	-0,04	0,797	-
říjen	90	1926-2015	0,23	0,001	↗
	64	1926-1989	0,056	0,522	-
	26	1990-2015	0,113	0,441	-
listopad	90	1926-2015	0,083	0,247	-
	64	1926-1989	0,12	0,414	-
	26	1990-2015	-0,086	0,324	-
prosinec	90	1926-2015	0,089	0,217	-
	64	1926-1989	-0,052	0,553	-
	26	1990-2015	0,086	0,559	-
Qr	90	1926-2015	0,257	0,000	↗
	41	1926-1967	-0,049	0,661	-
	49	1968-2015	0,177	0,081	-
jaro	90	1926-2015	0,243	0,001	↗
	66	1926-1991	0,014	0,870	-
	24	1992-2015	0,2	0,916	-
léto	90	1926-2015	0,191	0,008	↗
	40	1926-1965	-0,168	0,134	-
	50	1966-2015	-0,054	0,587	-
podzim	90	1926-2015	0,185	0,010	↗
	64	1926-1989	-0,07	0,943	-
	26	1990-2015	0,026	0,870	-
zima	90	1926-2015	0,132	0,070	↗
	65	1926-1990	-0,005	0,958	-
	25	1991-2015	0,043	0,785	-

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 24: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu na průtocích řeky Kara-Balta

	n	roky	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	79		0,081	0,305	-
	61	1927-1987	0,179	0,428	-
	18	1988-2015	-0,337	0,000	↘
únor	79		0,065	0,411	-
	61	1927-1987	-0,412	0,000	↘
	18	1988-2015	0,102	0,669	-
březen	79		0,061	0,444	-
	60	1927-1986	-0,41	0,000	↘
	19	1987-2015	0,385	0,063	-
duben	79		0,04	0,611	-
	60	1927-1986	-0,185	0,039	↘
	19	1987-2015	0,099	0,661	-
květen	80		-0,021	0,798	-
červen	79		0,148	0,062	-
červenec	77		0,008	0,921	-
srpen	79		-0,145	0,069	-
	48	1927-1970	0,014	0,900	-
	31	1971-2015	0,214	0,101	-
září	78		-0,095	0,241	-
říjen	76		-0,114	0,162	-
	60	1927-1986	-0,392	0,000	↘
	16	1987-2015	-0,381	0,119	-
listopad	76		-0,025	0,758	-
	6	1927-1986	-0,339	0,000	↘
	16	1987-2015	-0,272	0,275	-
prosinec	76		0,056	0,493	-
	60	1927-1986	-0,3	0,001	↘
	16	1987-2015	0,091	0,755	-
Qr	75		-0,021	0,800	-
jaro	76		-0,023	0,781	-
	60	1927-1986	-0,191	0,033	↘
	16	1987-2015	0,236	0,350	-
léto	76		0,025	0,758	-
podzim	76		-0,128	0,114	-
	60	1927-1986	-0,394	0,000	↘
	16	1987-2015	-0,345	0,161	-
zima	76		-0,008	0,921	-
	61	1927-1987	-0,31	0,000	↘
	15	1988-2015	-0,067	0,858	-

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodných problem, Monthly Observational Data Map (2017)

7.2 Trend v datech srážek

Testování trendu na srážkových datech probíhalo pouze na celých řadách Mann-Kendallovým testem. Výsledky z jednotlivých stanic můžeme vidět v tab. č. 25-29. Na stanici Baitik byly zjištěny pouze 4 rostoucí trendy v měsících a dva v ročních obdobích. Trend byl zjištěn v lednu, únoru, listopadu a prosinci. Trend v těchto měsících pak potvrzuje i výsledek testu pro roční období, jelikož byl zjištěn na podzim a v zimě.

Na stanici Biškeek pak byl nalezen rostoucí trend v zimních měsících, listopadu a zimním ročním období jako v případě stanice Baitik. Rostoucí trend byl zjištěn pak ale také v srpnu a u průměrných ročních srážek.

Na stanici Alplager byl detekován statisticky významný rostoucí trend pouze v zimním ročním období. V žádném měsíci nebyla zjištěna signifikance pod 0,05, nejbližší se tomu přiblížil leden s hodnotou signifikance 0,075. Stejně výsledky byly zjištěny i na stanici Chon-Arik, jen s výjimkou, že z měsíců byl nejbližší ke statisticky významnému trendu měsíc únor se signifikancí 0,053.

Srážky na stanici Tuja Ašu vykazují rostoucí trend také v zimním období a ještě k tomu v průměrných ročních srážkách, jinak opět nebyl zaznamenán jakýkoliv trend v časových řadách.

Tab. č. 25: Detekce trendu pomocí Mann-Kendalova testu na srážkách ze stanice Baitik (1580 m n. m.)

	n	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	102	0,21	0,002	↗
únor	102	0,274	0,000	↗
březen	102	0,084	0,216	-
duben	102	0,025	0,718	-
květen	102	-0,091	0,180	-
červen	102	-0,011	0,875	-
červenec	102	-0,034	0,620	-
srpen	102	0,043	0,524	-
září	102	0,027	0,692	-
říjen	102	0,061	0,371	-
listopad	102	0,187	0,006	↗
prosinec	102	0,241	0,000	↗
Hr	102	0,1	0,140	-
jaro	102	0,004	0,956	-
léto	102	0,009	0,894	-
podzim	102	0,147	0,030	↗
zima	102	0,415	0,000	↗

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 26: Detekce trendu pomocí Mann-Kendalova testu na srážkách ze stanice Biškek (756 m n. m.)

	n	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	78	0,226	0,004	↗
únor	78	0,349	0,000	↗
březen	78	0,032	0,690	–
duben	78	0,138	0,078	–
květen	78	0,069	0,380	–
červen	78	-0,131	0,096	–
červenec	78	0,04	0,612	–
srpen	78	0,166	0,035	↗
září	78	-0,005	0,954	–
říjen	78	0,027	0,730	–
listopad	78	0,187	0,017	↗
prosinec	78	0,213	0,006	↗
Hr	78	0,206	0,009	↗
jaro	78	0,140	0,073	–
léto	78	-0,031	0,696	–
podzim	78	0,144	0,067	–
zima	78	0,399	0,000	↗

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 27: Detekce trendu pomocí Mann-Kendalova testu na srážkách ze stanice Alplager (2428 m n. m.)

	n	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	38	0,207	0,073	–
únor	38	0,186	0,108	–
březen	38	-0,135	0,244	–
duben	38	-0,21	0,865	–
květen	38	-0,033	0,784	–
červen	38	-0,075	0,539	–
červenec	38	-0,117	0,314	–
srpen	38	-0,048	0,685	–
září	38	0,123	0,289	–
říjen	38	-0,009	0,948	–
listopad	38	0,117	0,314	–
prosinec	38	0,177	0,126	–
Hr	38	0,057	0,628	–
jaro	38	-0,090	0,440	–
léto	38	-0,105	0,367	–
podzim	38	0,111	0,340	–
zima	38	0,252	0,029	↗

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 28: Detekce trendu pomocí Mann-Kendalova testu na srážkách ze stanice Chon-Arik (1108 m n. m.)

	n	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	48	0,043	0,680	–
únor	48	0,198	0,053	–
březen	48	-0,005	0,970	–
duben	48	0,036	0,733	–
květen	48	0,076	0,460	–
červen	48	-0,024	0,820	–
červenec	47	0,046	0,660	–
srpen	46	0,049	0,649	–
září	46	0,047	0,664	–
říjen	46	0,108	0,307	–
listopad	46	0,013	0,911	–
prosinec	46	0,146	0,166	–
Hr	46	0,131	0,213	–
jaro	46	0,106	0,317	–
léto	46	0,04	0,708	–
podzim	46	0,169	0,108	–
zima	46	0,228	0,030	↗

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 29: Detekce trendu pomocí Mann-Kendalova testu na srážkách ze stanice Tuja Ašu (3225 m n. m.)

	n	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	44	0,207	0,058	–
únor	45	0,187	0,079	–
březen	43	0,082	0,463	–
duben	42	0,081	0,481	–
květen	45	0,023	0,834	–
červen	44	0,212	0,052	–
červenec	45	0,087	0,414	–
srpen	46	0,008	0,940	–
září	45	0,096	0,374	–
říjen	44	0,095	0,395	–
listopad	43	0,139	0,217	–
prosinec	43	0,182	0,105	–
Hr	37	0,299	0,019	↗
jaro	42	0,164	0,129	–
léto	43	0,122	0,260	–
podzim	42	0,203	0,057	–
zima	42	0,292	0,007	↗

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

7.3 Trend v datech teplot

Trend teplot byl zjišťován na všech čtyřech dostupných stanicích, ze kterých byla data k dispozici. Zjišťován byl také Mann-Kendallovým testem. Výsledky jsou značně různorodé. Můžeme je vidět v tab. č. 30-33. Na stanici Baitik byl zjištěn rostoucí trend v měsíci lednu, dubnu, červnu, listopadu a prosinci, dále pak ve všech ročních obdobích kromě léta.

Na městské stanici Biškek je detekováno trendů více. Rostoucí trend nebyl zjištěn pouze v únoru, květnu a červenci, jinak byl zjištěn ve všech testovaných řadách. Opakem je stanice Alplager, na které byl zjištěn trend pouze v březnu, ostatní změny nejsou statisticky významné.

Samostatnou kategorií jsou pak výsledky na stanici Tuja-Ašu, které jsou ovlivněny již zmíněnou změnou před a po odstávce stanice. Byl zde totiž potvrzen klesající trend teplot. Tento trend byl zjištěn v měsíci lednu, červnu, červenci, říjnu a prosinci.

Tab. č. 30: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu v teplotách ze stanice Baitik (1580 m n. m.)

	n	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	102	0,114	0,092	↗
únor	102	0,041	0,546	–
březen	102	0,123	0,069	–
duben	102	0,15	0,026	↗
květen	102	0,075	0,270	–
červen	102	0,226	0,001	↗
červenec	102	0,035	0,604	–
srpen	102	0,006	0,932	–
září	102	0,086	0,204	–
říjen	102	0,002	0,979	–
listopad	102	0,168	0,013	↗
prosinec	102	0,137	0,043	↗
Hr	102	0,257	0,000	↗
jaro	102	0,160	0,018	↗
léto	102	0,091	0,178	–
podzim	102	0,145	0,032	↗
zima	102	0,165	0,015	↗

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 31: Detekce trendu pomocí Mann-Kendalova testu v teplotách ze stanice Biškek (756 m n. m.)

	n	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	79	0,161	0,040	↗
únor	79	0,092	0,242	–
březen	79	0,189	0,016	↗
duben	79	0,16	0,041	↗
květen	79	-0,011	0,893	–
červen	79	0,21	0,007	↗
červenec	79	0,098	0,212	–
srpen	79	0,179	0,023	↗
září	79	0,262	0,001	↗
říjen	79	0,173	0,028	↗
listopad	79	0,297	0,000	↗
prosinec	79	0,21	0,007	↗
Hr	79	0,441	0,000	↗
jaro	79	0,164	0,036	↗
léto	79	0,207	0,008	↗
podzim	79	0,353	0,000	↗
zima	79	0,278	0,000	↗

Zdroj: vlastní zpracování, Institut vodnych problem, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 32: Detekce trendu pomocí Mann-Kendalova testu v teplotách ze stanice Alplager (2428 m n. m.)

	n	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	32	-0,058	0,659	–
únor	32	0,196	0,126	–
březen	32	0,333	0,009	↗
duben	32	0,067	0,610	–
květen	32	0,058	0,659	–
červen	32	0,114	0,377	–
červenec	32	-0,234	0,066	–
srpen	32	0,017	0,905	–
září	32	-0,028	0,838	–
říjen	32	0,176	0,169	–
listopad	32	-0,006	0,973	–
prosinec	32	-0,17	0,185	–
Hr	34	0,121	0,329	–
jaro	32	0,183	0,153	–
léto	32	0,04	0,760	–
podzim	32	0,123	0,341	–
zima	32	-0,037	0,786	–

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

Tab. č. 33: Detekce trendu pomocí Mann-Kendallova testu v teplotách ze stanice Tuja Ašu (3225 m n. m.)

	n	testovací statistika tau	Signifikance	trend
leden	32	-0,296	0,022	↘
únor	32	-0,205	0,116	–
březen	32	-0,021	0,887	–
duben	31	-0,203	0,121	–
květen	32	-0,228	0,080	–
červen	32	-0,287	0,027	↘
červenec	32	-0,273	0,035	↘
srpen	32	-0,191	0,143	–
září	32	-0,108	0,412	–
říjen	32	-0,379	0,003	↘
listopad	32	-0,186	0,153	–
prosinec	32	-0,446	0,001	↘
Hr	48	-0,356	0,001	↘
jaro	32	-0,080	0,544	–
léto	32	-0,264	0,042	↘
podzim	32	-0,329	0,011	↘
zima	32	-0,329	0,011	↘

Zdroj: vlastní zpracování, Monthly Observational Data Map (2017)

7.4 Shrnutí

Na všechna dostupná data byl použit Mann-Kendallův test pro zjišťování trendu. Se zvolenou hladinou významnosti 5 % byl až na průtoky řeky Kara-Balty a na teploty na stanici Tuja-Ašu (kde, jak bylo zjištěno, muselo dojít k velkému zásahu do stanice v období, kdy byla mimo provoz) byl nalezen trend stoupající.

Na řekách Ala-Alrča a Alamedin dochází k nárůstu průtoku, u řeky Kara-Balty pro celé časové řady nebyl zjištěn žádný trend. Data srážek byla převážně bez zjištěného trendu, rostoucí trend byl nalezen hlavně v zimním období a zimních měsících. V případě teplotních dat můžeme hovořit o větší variabilitě dosažených výsledků. Pokud vyloučíme stanici Tuja Ašu, tak lze říci, že s nadmořskou výškou klesá i množství trendu v teplotách. Největší množství trendu nacházíme na městské stanici Biškeek, naopak stanice Alplager už je téměř bez trendu.

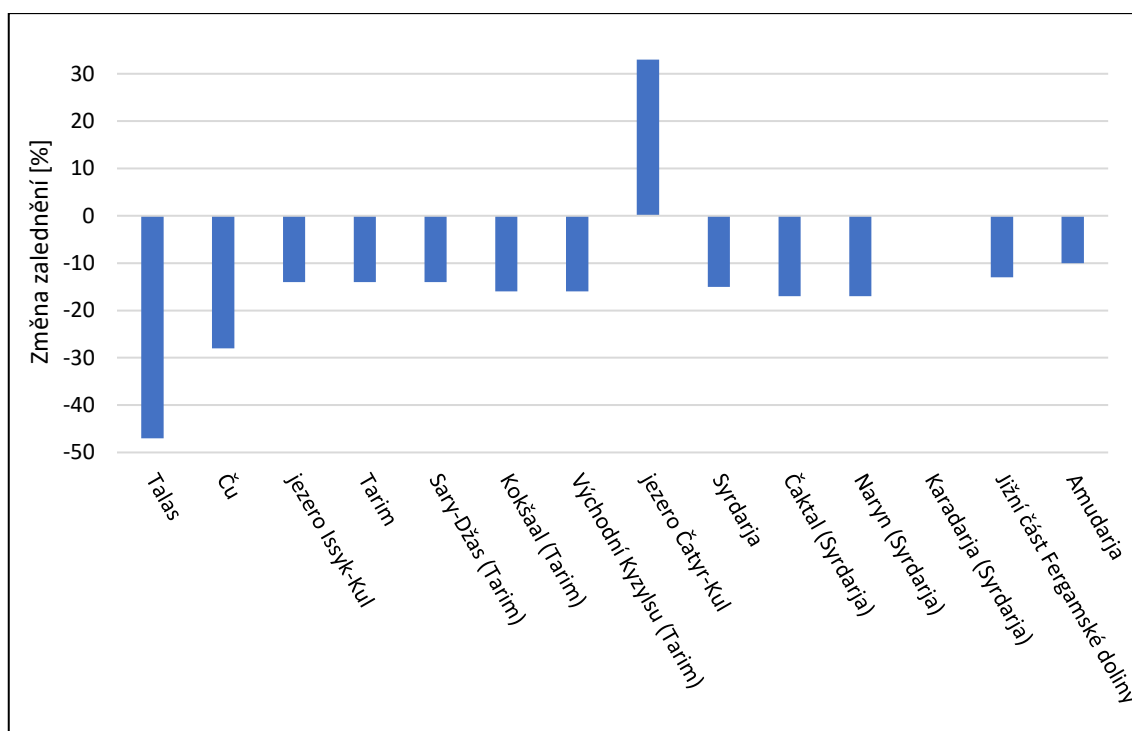
8. ZMĚNY V ZALEDNĚNÍ VE SLEDOVANÝCH POVODÍCH

Dle Katalogu ledovců (Moldobekov, 2018), ve kterém jsou uvedeny plochy ledovců v Kyrgyzstánu, které byly získány ze snímků z let 2013-2016 (pořízeny družicí Landsat 8 s přesností 15 m na pixel), bylo v tomto období na území Kyrgyzstánu 9959 ledovců o ploše 6683,9 km². Z toho 6227 ledovců zaujímalu plochu větší než 0,1 km² (ty dosahovaly rozlohy 6494,0 km². Zbývající počet ledovců (3732) zaujímal plochu 189,9 km² a plocha jednotlivých ledovců byla menší než 0,1 km². Plocha ledovců byla měřena ze snímků maximální ablace (období od druhé poloviny července do první poloviny října) a minimální oblačnosti.

Ve starším vydání Katalogu ledovců, ve kterém byly použity snímky z let 1940-1970 je uvedeno, že počet ledovců v Kyrgyzstánu byl 8164 a jejich plocha byla 7944,2 km² a z toho jich bylo 6719 větší než 0,1 km² (Moldobekov, 2018).

Plocha ledovců se tedy v Kyrgyzstánu zmenšila o 16 %. Plocha ledovců větších než 0,1 km² se zmenšila o 16 %, ale plocha ledovců menších než 0,1 km² se zvětšila o 245 %. V případě počtu ledovců se mezi těmito obdobími zvýšil počet ledovců o 22 %, o 258 % se zvýšil počet ledovců menších než 0,1 km² a o 7,5 % se zmenšil počet těch větších než 0,1 km² (Moldobekov, 2018).

V povodí řeky Ču, ve kterém se nachází i zkoumaná povodí se nachází pouze 7 % ledovců Kyrgyzstánu (Moldobekov, 2018). Na grafu č. 52 je pak vidět změna zalednění na vybraných povodích nacházejících se v Kyrgyzstánu a řeka Ču přišla během cca 70 let o 28 % zalednění. Největší úbytek zalednění byl pozorován v povodí řeky Talas, kde došlo ke ztrátě 47 % zalednění. Jedinou výjimkou je povodí jezera Čatyr-Kul, kde byl zaznamenán nárůst o 33 %, nicméně data z tohoto povodí není možné brát jako reprezentativní, z důvodu velmi malého zalednění a chyby, která mohla vzniknout při měření. Zajímavé je také povodí Karadarja, ve kterém nedošlo k úbytku ledovců.



Graf č. 52: Změna zalednění ve vybraných povodích v Kyrgyzstánu

Zdroj: zpracování vlastní, Katalog ledovců (Moldobekov, 2018).

Ala-Arča

Změnami v zalednění v povodí řeky Ala-Arča se detailně zabýval Bolch (2015), který zkoumal především území Národního Parku Ala-Arča a Aizen a kol. (2006), kteří zkoumali změny v povodí řeky Ala-Arči mezi lety 1963 a 2003.

Na území povodí řeky Ala-Arča od poloviny 19. století do počátku 20. století ustoupily ledovce v průměru o 1 km. Tato informace byla zjištěna na základě tacheometrického měření a byla založena pouze na studiu velkých ledovců (Visnevski, 1937). Do konce čtyřicátých let 20. století ustoupily ledovce o dalších 500 m a poté do roku 1963 byly ledovce stacionární (Aizen a kol., 2006). V roce 1964 byla naměřená plocha ledovců 40,9 km², v roce 1971 byla plocha menší o 1 km² a v roce 1999 už plocha ledovců v povodí řeky Ala-Arči dosahovala pouze 35,8 km². O čtyři roky později (2003) jejich velikost byla jen 34,6 km². Na území národního parku se nacházelo v roce 2010 33,4 km² ledovců v rozmezí nadmořské výšky 3310 až 4760 m. Mapu rozložení ledovců můžeme vidět na obr. č. 9. (Bolch 2015). Podobné hodnoty najdeme v práci Aizena a kol. (2006), neboť uvádí, že v roce 1963 byla plocha ledovce 42,83 km² (což je o 2 km² více, než v případě výsledků Bolcha (2015) a tento rozdíl mezi oběma pracemi se udržuje až do současnosti). V roce 2003 byla podle Aizena a kol. (2006) plocha ledovců 36,31 km².

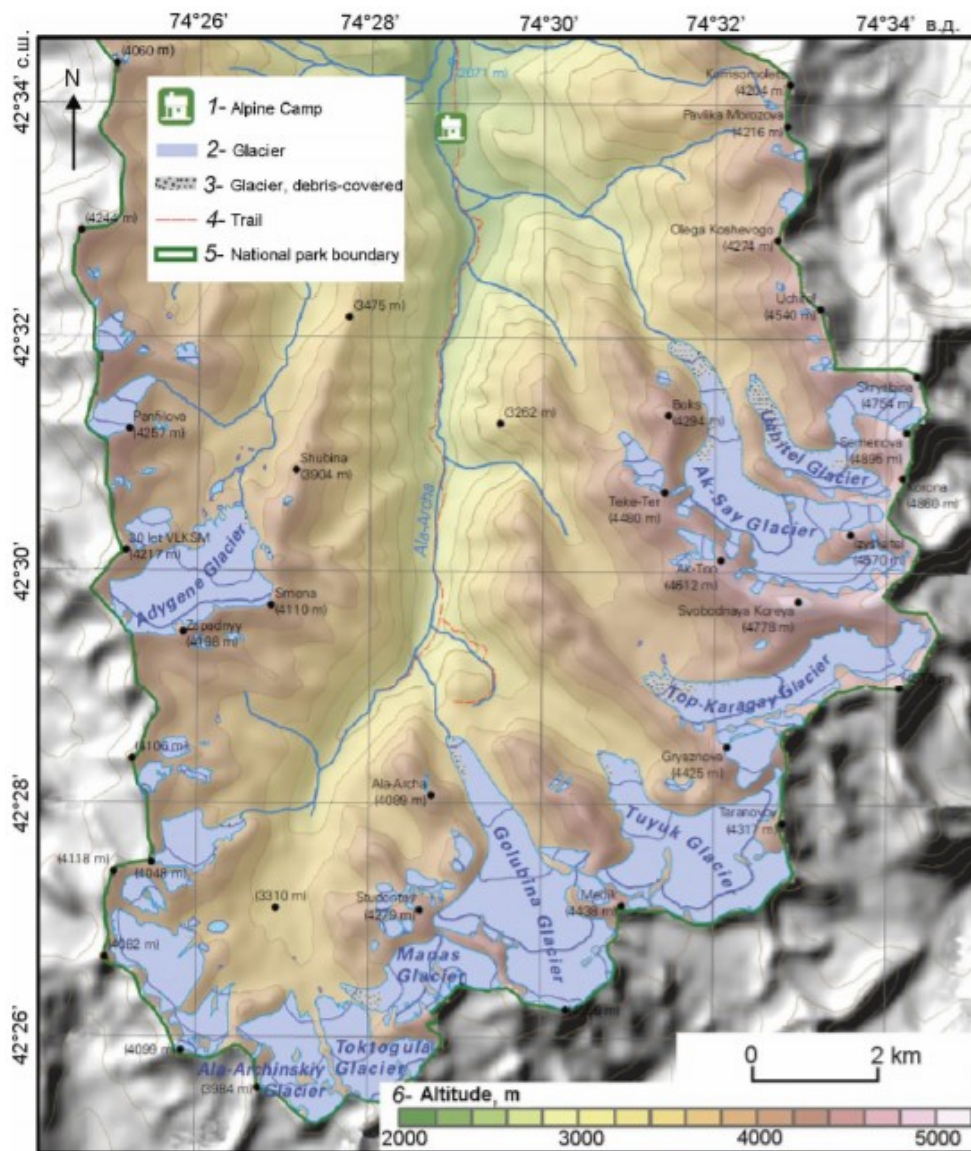
Zalednění povodí řeky Ala-Arči se od Aizena a kol. (2006) a Bolcha (2015) výrazněji odlišuje v Katalogu ledovců (Moldobekov, 2018). Je zde uvedeno, že plocha ledovců zjišťována ze snímků z let 1960-1966 byla 53,6 km², což je téměř o 13 km² více, než u Bolcha (2015). Dále uvádí, že zde byl celkový počet ledovců 33, z toho 30 jich mělo plochu větší než 0,1 km², jejich plocha byla 53,5 km². Zbylé tři ledovce zaujímaly plochu 0,1 km². V Katalogu ledovců (Moldobekov, 2018), je dále uvedeno, že plocha ledovců je v současnosti 38,7 km², což už se více přibližuje i výsledkům Bolcha (2015) a Aizena a kol. (2006). Počet ledovců se zvětšil na 43, ale zmenšil se počet ledovců větších než 0,1 km², těch je v dnešních době zaznamenáno 26 a mají rozlohu 37,8 km². Zbylé 0,9 km² tvoří malé ledovce menší než 0,1 km².

Přehledný vývoj zalednění z dostupné literatury je vidět v tab. č. 34.

Tab. č. 34: Zalednění povodí řeky Ala-Arča v km² z dostupné literatury

	Bolch (2015)	Aizen a kol. (2006)	Katalog ledovců 2018
1960-1966			53,6
1963		42,83	
1964	40,9		
1971	39,9		
1999	35,8		
2003	34,6	36,31	
2010	33,4		
2013-2016			38,7

Zdroj: Bolch (2015), Aizen a kol. (2006) a Katalog ledovců (Moldobekov, 2018)

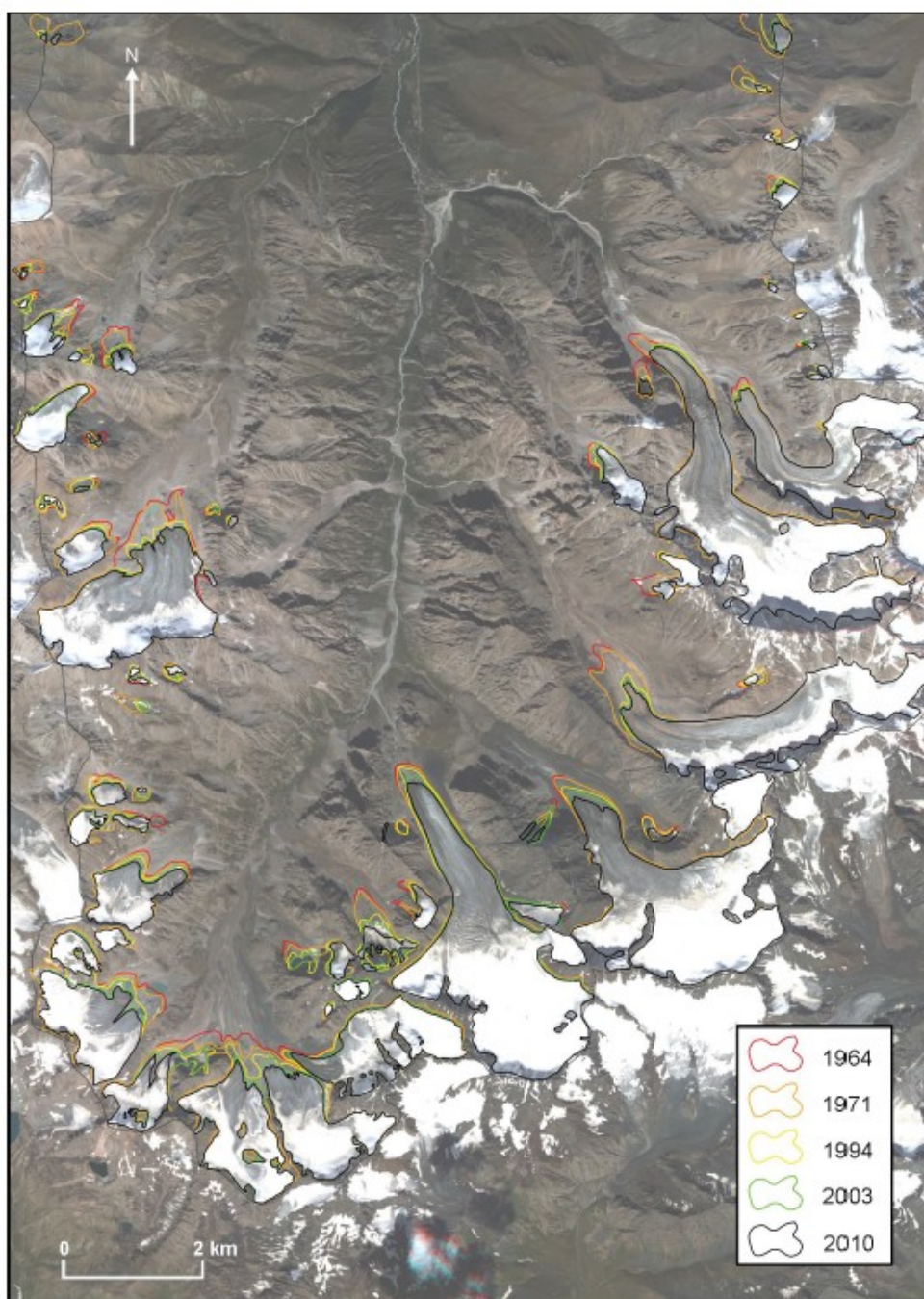


Obr. č. 9: Rozmístění ledovců v povodí řeky Ala-Arča

Zdroj: Bolch (2015)

Rozdílné změny zalednění můžeme vidět na obr. č. 10, kde jsou znázorněny hranice ledovců v letech 1964, 1971, 1994, 2003 a 2010. Mezi roky 1964 a 2010 došlo v povodí řeky Ala-Arča k nárůstu počtu ledovců z 51 na 62 a to z důvodu rozpadu několika ledovců. Malé ledovce v tomto období ztratily téměř 50 % jejich původní plochy, zatímco u větších ledovců došlo ke ztrátě pouze 13 % z jejich původní plochy. Tento proces úbytku je pro úbytek ledovcové hmoty typický a najdeme jej i v jiných částech Ťan-Šanu i jiných horských pásmech po světě (Bolch, 2015).

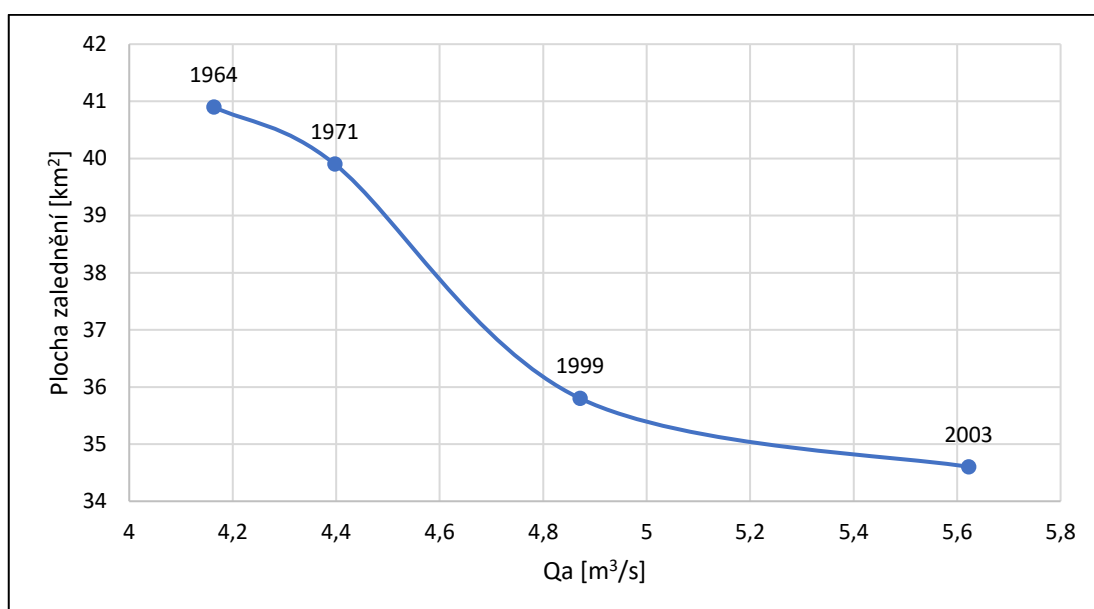
Největším ledovcem v povodí řeky Ala-Arči je ledovec Golubina, který má severo-severozápadní orientaci a v roce 1861 dosahoval jeho splaz do výšky 2900 m n.m. V roce 1913 jeho nejnižší část zasahovala pouze do 3050 m n.m. a o 36 let později ustoupil o dalších 100 výškových metrů. V letech 1958-1972 byla hmotnostní rovnováha ledovce Golubina pozitivní, ale od následujícího roku docházelo opět především k úbytku. Mezi roky 1981 a 2003 došlo k jeho ústupu o 260 m (Aizen a kol, 2006).



Obr. č. 10: Úbytek ledovců v povodí řeky Ala-Arča v letech 1964-2010

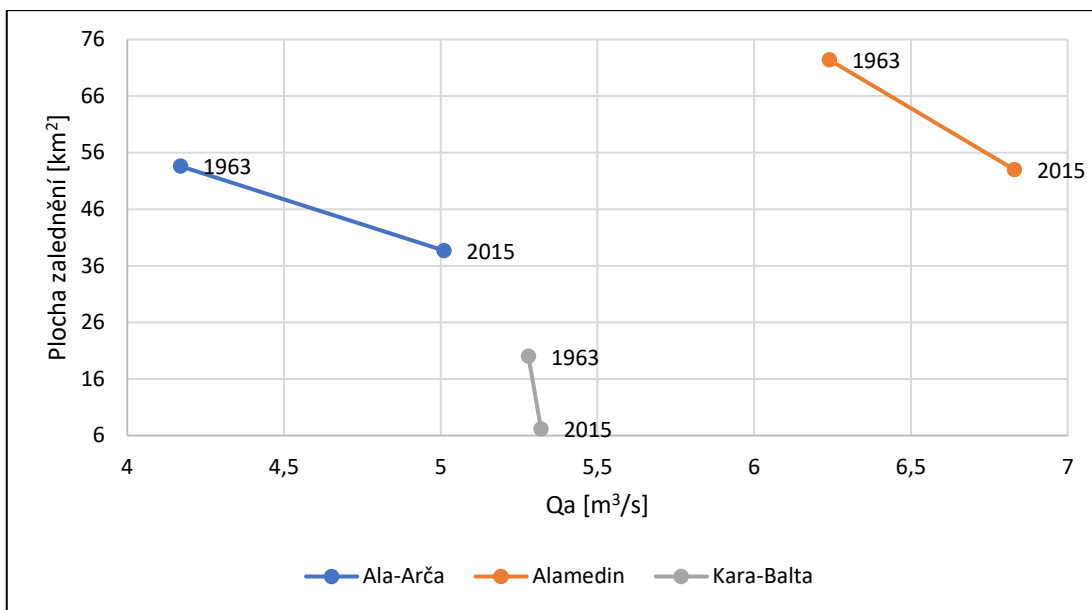
Zdroj: Bolch (2015)

Závislost zalednění na průměrném ročním průtoku můžeme vidět na grafu č. 53, který nám ukazuje, že v povodí řeky Ala-Arči dochází se snižujícím se zaledněním ke zvýšení průměrného ročního průtoku. K vytvoření grafu byly použity plochy ledovce od Bolch (2015) a data průtoku z Institutu vodních problémů a hydroenergetiky. Na grafu č. 54 je pak možné vidět vliv zalednění na odtok v povodí řek Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta mezi lety 1963 a 2015. Plocha zalednění byla získána z Katalogu ledovců (Moldobekov, 2018) a data o průtoku z Institutu vodních problémů a hydroenergetiky. Z grafu je patrné, že dochází k nárůstu odtoku s ubývajícím zaledněním především na řekách Ala-Arča a Alamedin. U řeky Kara-Balty i přes velký úbytek ledovců mezi těmito lety nárůst průtoku v podstatě nepozorujeme.



Graf č. 53: Závislost průměrného ročního průtoku na úbytku zalednění

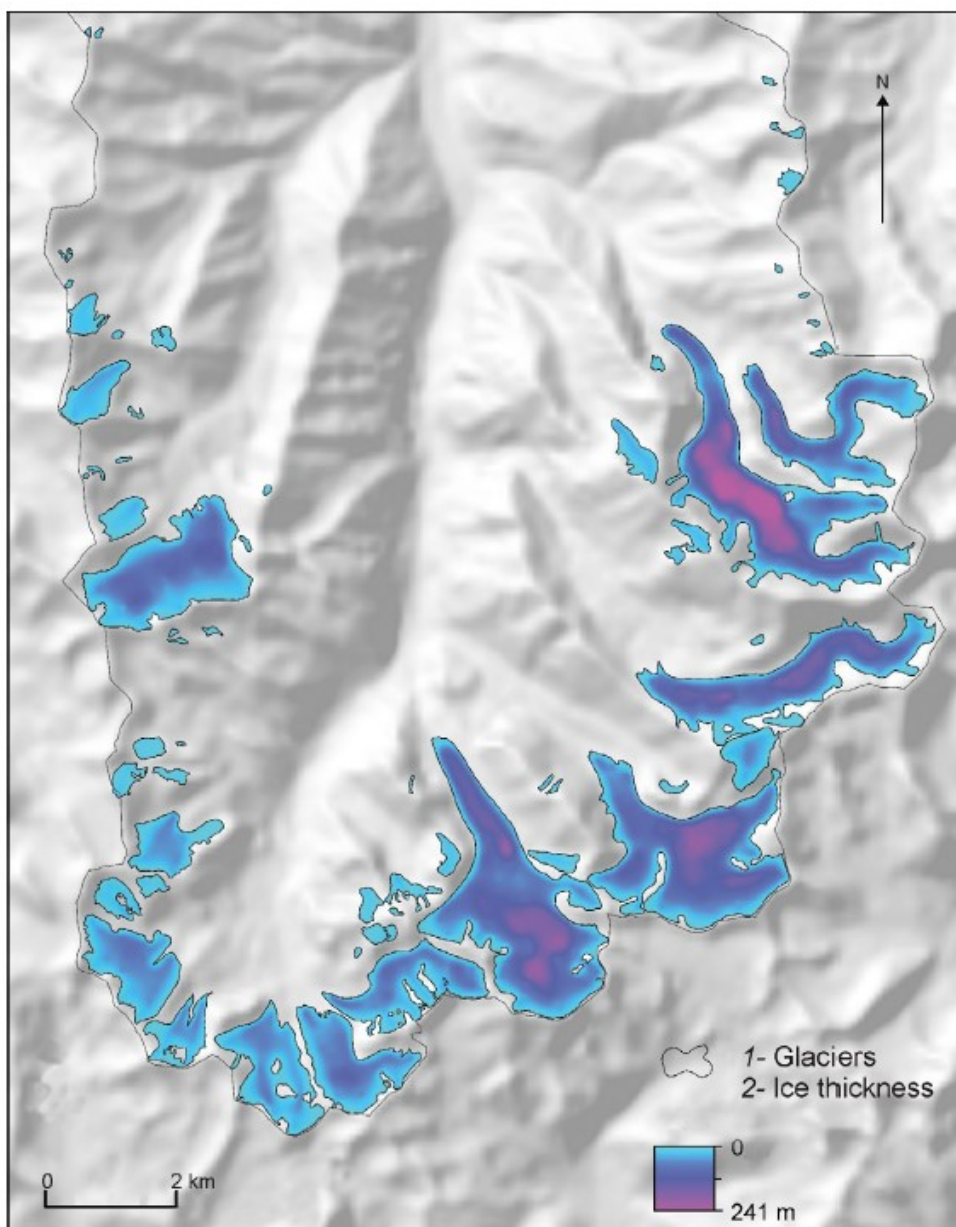
Zdroj: vlastní zpracování, Bolch (2015), Institut vodních problémů



Graf č. 54: Závislost průměrného ročního průtoku na úbytku zalednění v povodích Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta

Zdroj: vlastní zpracování, Katalog ledovců (Moldobekov, 2018)

Co se týče objemu ledovců, tak povodí řeky Ala-Arča v roce 2000 obsahovalo $1,56 \pm 0,47$ km³ ledu, což je přibližná tloušťka ledu 46 m. Mezi ledovce s největším objemem v tomto povodí patří ledovce Golubina a Ak-Say, dosahují maximální mocnosti více než 200 m (obr. č. 11). Dle práce Bolcha (2015) došlo během období 1964 – 2012 k objemové a hmotnostní ztrátě ledovců. Za posledních 50 let zde došlo ke ztrátě $0,98 \pm 0,56$ km³ ledu. Možnost mírného přírůstku se ukázal na ledovci Golubina mezi lety 1964 a 1971, ale je zde velká míra nejistoty Bolch (2015).



Obr. č. 11: Tloušťka ledovců v povodí řeky Ala-Arči v roce 2000

Zdroj: Bolch (2015)

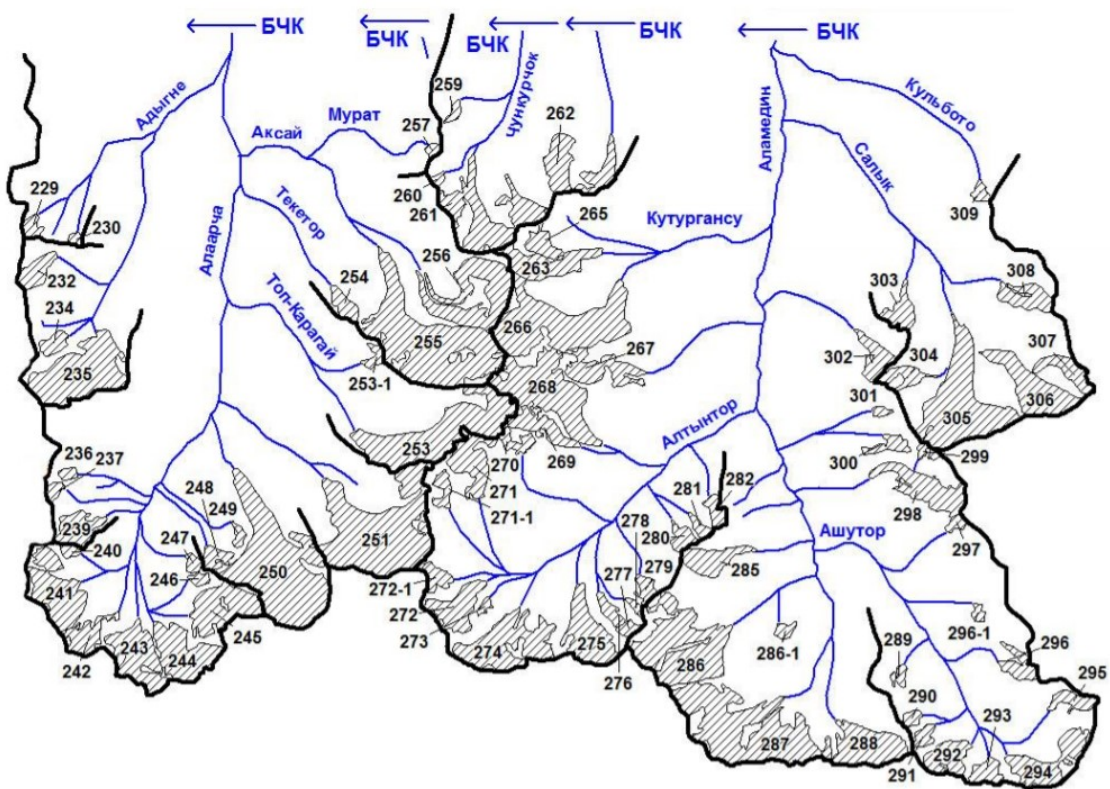
Alamedin a Kara-Balta

U řek Alamedin a Kara-Balta nejsou k dispozici podrobné výzkumné práce jako v případě povodí Ala-Arča, ale z Katalogu ledovců (Moldobekov, 2018) vyplývá, že i zde dochází k úbytku ledovců. V letech 1960-1966 byla plocha ledovců v povodí řeky Alamedin 72,4 km² a počet ledovců byl 53, z toho 51 jich mělo větší plochu než 0,1 km². Těchto 51 ledovců zaujímalu plochu 72,3 km². V Katalogu ledovců z roku 2018 je uvedeno, že počet ledovců stoupl na 76, ale celková

plocha zalednění se zmenšila na 53 km². Počet velkých ledovců (větších než 0,1 km²) je 52 a zaujímají plochu 51,7 km².

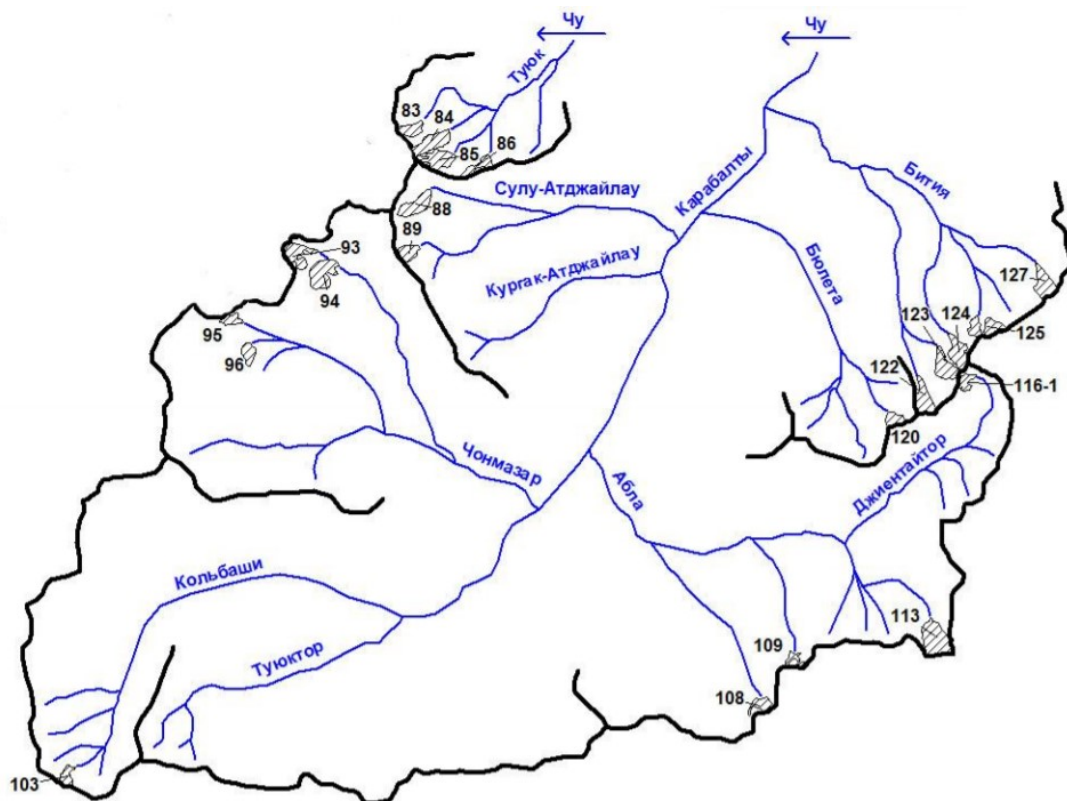
V Katalogu ledovců (Moldobekov, 2018) z roku 2018 je pro řeku Kara-Baltu uvedena plocha ledovců pouhých 7,2 km², ale jejich počet je vůči ploše zalednění velký. Je zde 21 ledovců větších než 0,1 km² o ploše 5,3 km² a dalších 37 menších než 0,1 km². Ze snímků z let 1960-1966 bylo zjištěno, že plocha ledovců byla 20km² a jejich počet byl 43. Došlo zde tedy ke zmenšení jak plochy zalednění, tak i ke snížení počtu ledovců.

Na obr. č. 12 a 13 jsou znázorněné rozložení ledovců na řekách Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta dostupných z Katalogu ledovců (Moldobekov, 2018).



Обр. ч. 12: Плоchy zalednění povодí řek Ala-Arča a Alamedin s čísly ledovců z Katalogu ledovců 2018

Zdroj: Katalog ledovců (Moldobekov, 2018)



Obr. č. 13: Plochy zalednění povodí řeky Kara-Balta s čísly ledovců z Katalogu ledovců 2018

Zdroj: Katalog ledovců (Moldobekov, 2018)

Pohřbené ledy v těchto třech údolích zabírají značnou část území a vyskytují se ve výškách nad 2500 m n. m. Výzkumy ukazují, že stupeň vlivu pohřbených ledů na odtok řek v těchto údolích závisí na formách moréno-ledovcových akumulací. A právě mezi červnem a červencem se nejvíce projevuje zvýšení rozdílu průměrného odtoku a nárůstu specifického odtoku. Erochin a kol. (2013) uvádí, rozdíl na řece Ala-Arča mezi průměrným červnovým a červencovým odtokem $4,82 \text{ m}^3/\text{s}$ a nárůst červencového specifického odtoku o $0,09 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$. Pro porovnání bylo zjištěno, že na základě dat z Institutu vodních problémů, že mezi dlouhodobým průměrným červnovým a červencovým průtokem je $5,15 \text{ m}^3/\text{s}$, což je podobné jako výsledek Erochina a kol. (2013).

Pro řeku Alamedin Erochin a kol. (2013) uvádějí rozdíl mezi průměrným červnovým a červencovým odtokem $8,20 \text{ m}^3/\text{s}$ a nárůst červencového specifického odtoku o $0,11 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$. Z dat Institutu vodních problémů vyšlo, že rozdíl dlouhodobých červnových a červencových průměrů je $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

V datech z řeky Kara-Balta se nachází u rozdílu mezi červnovým a červencovým dlouhodobým průměrem, velký počet roků, kdy odtok v červnu je větší než v červenci. Rozdíl tedy mezi průměrným červnovým a červencovým odtokem byl vypočítán pouze na 0,5 m³/s. Erochin a kol. (2013) vypočetli rozdíl na 1,3 m³/s a nárůst červencového specifického odtoku ve srovnání s červnovým o 0,06 m³s⁻¹km⁻².

9. ZMĚNA ODTOKU VE STŘEDNÍ ASII A JINÝCH ČÁSTECH SVĚTA

Změnu odtoku na řece Naryn můžeme nalézt v práci Kriegel a kol. (2013), kde autoři stejně jako v případě této práce hledali trend za použití Mann-Kendalova testu. Zkoumali také vývoj ledovců v povodí. Dostupná data byla od roku 1960 do roku 2007. Hladina statistické významnosti v tomto případě byla určena na 10 % (Kriegel a kol., 2013).

Co se týče vývoje ledovců, byl v povodí řeky Naryn zaznamenán jejich úbytek. V 70. letech zde bylo $1210 \pm 20 \text{ km}^2$ a na začátku 21. století už to bylo pouze $926 \pm 23 \text{ km}^2$, což je ztráta zhruba 23 % plochy ledovců oproti původní ploše zalednění. Z hlediska trendu teplot byl v dlouhodobých řadách nalezen statisticky významný trend, zatímco pro kratší období byl trend statisticky nevýznamný. Na stanici Naryn bylo mezi lety 1960-2007 zjištěno, že trend je v podzimních a zimních měsících extrémně rostoucí (Kriegel a kol., 2013). V případě teplotních stanic zkoumaných v této práci byl signifikantní nárůst zaznamenán na stanicích Biškek a Baitik, kde byla testovací statistika tau jedna z nejvyšších, což nám udává, že zde byl větší nárůst než u jiných měsíců s nižší hodnotou. Vývoj srážek zkoumali na stanicích Naryn, Ťan-Šan a Susamir. Trendy ve srážkách se zdály být heterogenní, na stanici Naryn a Ťan-Šan byl trend většinou buď velmi malý anebo nevýznamný. Pozitivní trend byl nalezen od poloviny 70. let na stanici Naryn. Na stanici Ťan-Šan byl zjištěn významný rok 1997, jelikož před tímto rokem byl trend výrazně negativní a po něm se stal pozitivním. To bylo způsobeno pravděpodobně přemístěním stanice a výměnou měřicího přístroje (Kriegel a kol., 2013). Podobnost najdeme v případě této práce u teplot na stanici Tuja-Ašu, kde v našem případě také došlo k ovlivnění měření. Na stanici Susamir byl zjištěn negativní trend. Pro celé Narynské údolí je tedy výsledný trend negativní a dochází tedy k úbytku srážek především v letním období, což má za následek i ovlivnění hmotové bilance ledovce (Kriegel a kol., 2013).

Z hlediska odtoku byl nevýznamný pozitivní trend zjištěn v srpnu, což Kriegel a kol. (2013) vysvětlují i nevýznamným a slabým trendem v srpnové teplotě. Pro odtoková data ze stanice Velký Naryn byl nalezen pozitivní trend od května do června, což odpovídá i kladnému trendu v teplotě. Nárůst teplot v jarních a zimních měsících ale výrazné ovlivnění odtoku na řece Naryn nepřinesl, neboť teploty jsou v těchto měsících relativně nízké, což snižuje i množství roztáté vody, které neovlivní odtok (Kriegel a kol., 2013).

Další, kdo se zabýval změnou odtoku v oblasti střední Asie byl Shahgedanova a kol. (2018). Ti se zabývali povodími v jihovýchodním Kazachstánu, kdy studovali 7 povodí a data pro některá měli od 50. let 20. století. Trend byl pro všechna hydrologická a meteorologická data

opět zjišťován pomocí Mann-Kendallova testu s hladinou významnosti 5 % (Shahgedanova a kol., 2018).

Šest povodí obsahuje různé zastoupení ledovců v povodí, u kterých také byla zaznamenána deglaciace, v některých případech (povodí Ulken Almaty a Osek) ztráta ledovce byla okolo 50 % od roku 1955/56 do současnosti. Maximální odtok je v těchto povodích v červenci – srpnu. Povodí Teresbutak je jediné, které neobsahuje ledovce a nejvyšší průtok zde je v červnu (Shahgedanova a kol., 2018). K podobnému výsledku vedly i maximální průtoky na řekách Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta, kdy na prvních dvou jmenovaných jsou nejvyšší průtoky v červenci a srpnu a na řece Kara-Balta jsou v červenci a červnu.

Statisticky významný trend průtoku nebyl v žádném případě detekován jako negativní v období 1974-2013, pro které byl trend zjišťován. Nejdůležitějšími trendy jsou trendy v letních měsících, avšak výsledek se neshoduje na všech povodích, na některých nebyl detekován statisticky významný trend. Nejsilnější trend byl zaznamenán v povodí Ulken Almaty, jehož střední nadmořská výška je ze všech povodí nejvyšší a má největší podíl zaledněného území. Pro stanice Ulken Almaty a Kishi Almaty byl nejvyšší nárůst odtoku zaznamenán v letních měsících v červnu, kde byl zaznamenán i nejvyšší trend v teplotách. Ještě silnější trend byl zaznamenán v podzimních měsících, ten byl zjištěn na všech hydrografických stanicích. Pozitivní trend mají i jarní a podzimní teploty, letní oteplování bylo zaznamenáno pouze na stanicích nad 2500 m n.m. (Shahgedanova a kol., 2018).

Hydrologickými změnami v zaledněných povodích ve východních Alpách se zabýval Carturan a kol. (2019). Prováděli výzkum na čtyřech povodích různých velikostí (8 až 1050 km²) a s různou velikostí zaledněných ploch v současné době (2-45 %). K analýzám nepoužili statistické metody, ale použili model EISModel 4.0, který analyzuje hydrologické vlastnosti povodí a je optimalizován na zaledněná povodí. Dostupná data byla od 20. let 20. století. Plocha ledovců zde významně ubývá, na konci malé doby ledové se plocha ledovců pohybovala mezi 4-69 % plochy povodí (Carturan a kol., 2019).

V hydrologických a meteorologických řadách byly hledány nehomogenity, které byly zjišťovány zkoumáním dat a jejich metadat, které nesou údaje o potenciálních problémech měření, posunech stanic, výměně přístrojů či změny v okolí stanice (Carturan a kol., 2019). Práce s metadaty výrazně usnadní práci při určování důvodu změny v datech, ty ale bohužel pro řeky Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta neměla autorka k dispozici, z toho důvodu nemohly být odkryty přesně důvody nehomogenit v datech jako v případě Alpských řek. Carturan a kol. (2019) použil

pro doplnění chybějících dat lineární regresi (tak jako tomu bylo v této práci s daty z Kyrgyzstánu).

Carturan a kol. (2019) zjistili, že čím větší je povodí, tím dříve nastává vrchol odtoku a že současné zalednění vede k o 10-40 % většímu odtoku, než kdyby oblast nebyla zaledněna.

Hänggi a Weingartner (2011) se zabývali variabilitou odtoku a klimatu v oblasti horního Rýnu mezi lety 1808 až 2007. V současné době je tato část povodí pokryta z 1,2 % ledovci, ale na základě historických dat je jasné, že i tady dochází k úbytku ledovců, neboť v roce 1850 zde plochu povodí pokrývaly ledovce z 2,1 % a v roce 1973 z 1,2 %. Provedené analýzy byly aplikovány na 30letá období. Největší změny v hydrologických a klimatologických řadách byly nalezeny v zimě a na jaře. V tomto období došlo ke zvýšení jak odtoku a teplot, tak i srážek. Tento nárůst byl kompenzován poklesem v létě a na podzim. Ačkoliv klima bylo výrazně chladnější a sušší v 19. století ve srovnání se stoletím dvacátým, velikost odtoku zůstala více méně konstantní a jeho variabilita se dramaticky nezměnila. Toto lze právě odůvodnit nárůstem odtoku v zimě a na jaře a zároveň poklesem v létě a na podzim.

Vztahy mezi odtokem, teplotami a srážkami jsou pozitivně korelovány ve všech ročních obdobích s výjimkou léta. Nejvýznamněji pozitivně korelovány jsou pak vztahy mezi daty v zimě. Naopak negativní korelace je mezi odtokem a teplotami v létě, což nám říká, že vyšší teplota v létě, způsobuje větší evapotranspiraci, což vede ke snížení odtoku.

Změnou průměrného a měsíčního odtoku se zabýval na území Chile v povodí řeky Elqui Balocchi a kol. (2017). Analyzovány zde byly 39leté řady (1970-2009) měsíčních a ročních srážek a odtoku ze čtyř dílčích povodí. Odtokový režim je zde deštovosněhovo-ledovcový. Ke zjišťování trendu odtoku a srážek byl použit také Mann-Kendallův test, který neodhalil v ročních údajích odtoku žádný trend, zatímco ve srážkách byl odhalen trend negativní během suchého období v létě. Při hledání trendu v průměrných teplotách na stanici Rio La Laguna byl nalezen rostoucí trend v zimních měsících, zejména v červnu, červenci a srpnu (Balocchi a kol., 2017).

Ledovce se rozkládají pouze na 7,02 km² v pramenné oblasti řeky Elqui. Z celkové rozlohy povodí se jedná pouze o velmi malou část povodí, neboť řeka Elqui má rozlohu 9656 km². To, že zde dochází k poklesu srážek, ale nikoliv k poklesu odtoku naznačuje, že důležitým zdrojem vodnosti je zde voda z tajících ledovců především v letních měsících, kdy je úbytek srážek nejvýraznější (Balocchi a kol., 2017).

10. DISKUZE

Práce měla za cíl statisticky zpracovat data průtoků, srážek a teplot z Kyrgyzstánu z oblasti povodí Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta. K analýze byly využívány celé časové řady, avšak v datech se vyskytla celá řada chybějících dat. Pokud se jednalo o ojedinělá data, byla doplněna pomocí lineární regrese. Pokud chyběla delší řada měsíčních dat, kdy stanice byla mimo provoz, tak tato data doplňována nebyla a hledal se trend v takto nekompletních datech. Výhodou zvolených testů bylo, že s těmito neúplnými řadami dokáží pracovat a nebyla to tedy žádná větší překážka. Výpadky u vysokohorských stanic mohou být způsobeny extrémními klimatickými podmínkami, kdy údržba stanic v zimních měsících je téměř nemožná, ale také je v oblasti Kyrgyzstánu a v podstatě i států, které vznikly po rozpadu Sovětského svazu těžké získat a najít úplné časové řady, neboť po rozpadu SSSR, byla celá rada meteorologických a hydrologických stanic postavena mimo provoz, přičemž v posledních desetiletích zaznamenáváme opětovný návrat k monitoringu na některých dříve zrušených stanicích. V současné době je monitoring výrazně ulehčen dostupností spolehlivých, bezobslužných meteorologických i hydrologických stanic s možností přenosu dat pomocí mobilních operátorů či satelitního přenosu. S chybějícími daty z oblasti střední Asie se potýkali také Kriegel a kol. (2013), které též pro doplnění využili lineární regresi nebo i Shahgedanova a kol. (2018). Nejproblémovější meteorologickou stanicí byla stanice Tuja-Ašu, jelikož její teplotní průměry se výrazně lišily před obdobím a po období, kdy byla mimo provoz. Důvod, proč tomu tak je se bohužel i přes kontakt institutu v Kyrgyzstánu nepovedlo zjistit, můžeme se tak jen domnívat, co je tuto změnu v měření zapříčinilo, zda stanice byla přemístěna, nebo byl vyměněn měřicí přístroj či došlo ke změně okolí stanice.

Na základě dat odtoku můžeme konstatovat, že nejvyšší průměrné průtoky jsou na všech řekách v měsíci červenci. Rozdíl způsobený režimem řek vidíme ve druhém nejvodnějším měsíci, kterým je v případě řek Ala-Arča a Alamedin srpen a v případě řeky Kara-Balta se sněhovo-ledovcovým režimem je druhým nejvodnějším měsícem červen. Ledovcovo-sněhový režim s dominancí odtoku v červenci a srpnu potvrzují Falátková a kol. (2019) i na řece Adygine, která je levostranným přítokem řeky Ala-Arča. Stejně jako na hlavním toku řeky Ala-Arči dochází na řece Adygine po odtokově nejvýraznějším červenci a srpnu k poklesu odtoku v září, jako důvod Falátková (2014) uvádí ochlazení pod bod mrazu, což výrazně omezí tání a podzimní srážky již průtok výrazně nemění. Do budoucna je očekáván na tomto přítoku řeky Ala-Arči podle scénářů A1 a A2 nárůst odtoku o 19,7 % a 25 % Falátková a kol. (2019). Stejně jako na sledovaných povodích (průměrný letní odtok se pohybuje okolo 60 %), tak i v zaledněných

povodích v Kyrgyzském hřbetu odteče během léta 40 – 60 % vody z celkového odtoku (Aizen a kol., 1196).

Předpokládá se, že průtok ve vysokohorských oblastech do značné míry ovlivňuje množství spadlých srážek a také teplota. Vliv srážek je velmi diskutabilní, jelikož například Han a kol. (2013), našli pouze minimální závislost srážek na průtoku. Maxima srážek se neshodují s měsíci maximálního odtoku. Nejvyšší úhrny na stanicích ve sledovaných povodích byly především v dubnu a květnu, naopak minima byla zjištěna nejčastěji v srpnu. Z dat o srážkách vyplývá, že mají dvě maxima, jarní a podzimní, což je způsobeno přechodem polární fronty, která odděluje tropický a polární vzduch. Na té se v důsledku teplotní heterogenity vytváří frontální cyklony. V jarních měsících dochází k přechodu polární fronty z jihu na sever, což způsobuje maximální srážky (Encyklopedia Britannica, 2019a). Naopak ze severu na jih se polární fronta přesunuje v období podzimu, což způsobuje zvýšené množství srážek v tomto období. Druhé maximum s rostoucí nadmořskou výškou zaniká. Meteorologická stanice Ala-Arča je jediná stanice, na které nepozorujeme podzimní maximum, což je překvapující, neboť stanice Tuja-Ašu leží výše a podzimní vrchol srážek je zde patrný. To může být způsobeno například umístěním stanice nebo i příliš krátkou časovou řadou (13 let), kdy mohlo dojít k tomu, že v tomto období byly podzimní srážky méně výrazné. Na základě průměrných ročních srážek proložených lineárním trendem je jasně patrné, že dochází k růstu množství srážek na většině stanic, výjimkou je stanice Alplager, kde je lineární trend vyrovnaný, nedochází tak k poklesu a ani k růstu množství srážek v průběhu let. To potvrdil i Mann-Kendall test, který v žádném z měsíců nenašel trend (lehký růst byl pomocí tohoto testu zaznamenán pouze v období zimy). Chod teplot mezi jednotlivými stanicemi má podobnější průběh než srážky, maxima jsou naměřena na všech stanicích v červenci a v srpnu a minima v lednu a únoru. Trend teplot byl zaznamenán na stanicích Biškeek a Baitik rostoucí. Na stanici Biškeek bylo zaznamenáno více trendů než na stanici Baitik, kde je rostoucí teplota především v zimě. Kriegel a kol. (2013) v povodí řeky Naryn došli k závěru, že dochází k nárůstu teploty právě v zimních měsících, ale také na podzim. Z podzimních měsíců došlo k nárůstu teploty na stanici Baitik jen v listopadu. Na stanici Alplager trend v těchto období nebyl zjištěn.

Dalším vlivem, který významně ovlivňuje odtok, a i do budoucna bude, je zalednění povodí. Ve většině případů dochází ke sledování ústupu ledovce a zmenšování jeho plochy, nicméně důležitějším atributem je zmenšování objemu ledovce, které ale je velmi těžko měřitelné. Například Bolch (2015), který zkoumal i změnu objemu ledovce má chybu okolo 0,5 km³. Úbytkem plochy ledovce se zabývala celá řada autorů nejen ve střední Asii. K úbytku dochází po celém světě. Informace o úbytku ledovce jsou zaznamenány na všech kontinentech,

kde se nachází jakékoliv množství zalednění. Zmenšení zalednění jsou popsána jak v Asii (Kriegel a kol., 2013, Shahgedanova a kol., 2018, Kaldybayev a kol., 2016), tak v Evropě (Carturan a kol. (2019), Hänggi a Weingartner (2011)), Americe (Balocchi a kol., 2017), i na Antarktidě (Hodgson a kol., 2018). Na území povodí řek Ala-Arča, Alamedin a Kara-Balta, dochází k ústupu ledovců, tímto fenoménem se v případě řeky Ala-Arča zabýval např. Bolch (2015) nebo Aizen a kol. (2006). Podle Katalogu ledovců (Moldobekov, 2018) je úbytek ledovců na řece Ala-Arča mezi 70. lety a současností 27,8 % a pro řeku Alamedin je úbytek v stejném časovém období 26,7 %. Například na řece Naryn, kterou se zabýval Kreigel a kol. (2013), došel k výsledku, že zde došlo ke ztrátě ledovce o 23 % z původní plochy, která byla naměřena v 70. letech. Za posledních 40 let se tedy nejen ve zkoumaných povodích zmenšila plocha o čtvrtinu. Falátková (2014) pak v rámci studia ledovce Adyginé, který se nachází v povodí Ala-Arči, také potvrdila jeho úbytek. Jak Aizen a kol. (2006), tak i Falátková (2014) uvádí, že úbytek ledovce není kontinuální. Úbytek ledovce kolísá jak v rámci delších časových období (Aizen a kol., 2006), tak i meziročně, kdy se střídají teplé (2007/2008, 2012) a chladné roky (2009, 2013), jak uvádí Falátková (2014). V rámci povodí řeky Ala-Arča došlo k velkému ústupu od poloviny 19. století, do poloviny 20. století, kdy ledovec ustoupil o přibližně 1,5 km, poté ale došlo k ustálení polohy ledovce, který byl stacionární až do roku 1963. Od tohoto roku už je pak opět sledován jeho ústup (Aizen a kol., 2006).

Do budoucna se očekává pokračující růst teploty a ztráta ledovce, způsobena růstem teploty, kdy Hagg a kol. (2013) očekávají ztrátu zalednění o 36-45 % na řece Amudarja, které vypočítali pomocí HBV-ETH modelu, což bude mít i vliv na odtok. Při pohledu na graf č. 52 je zde jasně patrné, že v povodí řeky Ala-Arči má zmenšování plochy ledovce vliv na velikost odtoku a předpokládá se, že se v tomto trendu bude pokračovat.

Stěžejní částí práce je statistická analýza dostupných dat, kdy byla zjišťována relativní a absolutní homogenita dat v časových řadách a také přítomnost trendu. Prvně byla zjišťována homogenita dat, stejný postup zvolil i Ledvinka (2008), který vycházel z doporučení Schönwiese a Rapp (1997). V rámci testování absolutní homogenity bylo v časových řadách odtoku nalezeno velké množství nehomogenit, řady se lámaly v několika případech i více než v jednom bodě. Nicméně hlavní zlomy se na jednotlivých řekách vyskytovaly, až na výjimky vždy okolo jednoho roku. Pro řeku Ala-Arču a Kara-Baltu to je období okolo roku 1987 a pro Alamedin je to rok 1990. Z důvodu nemožnosti nahlédnout do metadat stanice, není možné určit, zda jde o změnu způsobenou přírodními nebo antropogenními faktory. Co se týče relativní homogenity, byla nehomogenita pro všechny řeky nalezena v zimním období, když byla jako referenční řada použita řada aritmetických průměrů srážek ze stanic Baitik, Biškek, Alplager a Chon-Arik. V případě referenční řady srážek ze stanice Chon-Arik, byla nehomogenita objevena pouze

v měsíci červenci na všech třech řekách. Právě nehomogenita dat jak meteorologických, tak hydrologických znesnadňuje hledání závislosti meteorologických dat na datech hydrologických s různými topografickými, klimatickými a glaciálními podmínkami. Právě díky omezenému přístupu k dostatečně dlouhým a homogenním řadám, dochází k hodnocení většinou pouze malých povodí, u kterých je předpoklad menšího ovlivnění (Shahgedanova a kol., 2018). I přes to, že pro tuto práci byla vybrána antropogenně neovlivněná povodí, musíme se zde potýkat s velkou nehomogenitou v datech. Pomocí Pettitova testu hledal nehomogenity Ledvinka (2008), který zkoumal české řeky a i on našel ve svých datech celou řadu nehomogenit.

Mann-Kendallův test nám odhalil, že na řekách Ala-Arča a Alamedin dochází k nárůstu odtoku, kdežto na řece Kara-Baltě není trend v průměrném ročním odtoku patrný, což se shoduje i s lineárním trendem. Na levostranném přítoku řeky Ala-Arči Falátková a kol. (2019) uvádí, že největší pozitivní trend je v povodí řeky Adygine pozorován na začátku ablační sezony, naopak vrchol ablační sezóny nevykazuje žádný trend. U řeky Alamedin není pozorován trend v srpnu, listopadu a v prosinci, což ale nesouhlasí s pozitivním trendem srážek a teplot v tomto období na stanicích Baitik a Biškeek, nicméně na výše položené stanici Alplager nebyl zjištěn trend v teplotách, a právě chybějící trend růstu teplot ve vyšších polohách může mít za následek chybějící trendy v těchto měsících u řeky Alamedin. K podobnému výsledku došel i Kriegel a kol. (2013) na řece Naryn, u něhož nebyl taktéž pozorován statisticky významný trend v srpnu, což vysvětluje právě nevýznamným trendem v teplotě. Kriegel a kol. (2013) také vyzpozovali, že i přes zvyšující se trend teploty v jarním a zimním období, nemá tento trend příliš velkou váhu na změnu odtoku, neboť zvyšující se teploty v těchto měsících jsou relativně nízké. Rostoucí trend odtoku na řekách Ala-Arča a Alamedin musí být tedy ovlivněn především růstem srážek, který je pozorován na některých stanicích. Další, kdo použil Mann-Kendalův test pro zjišťování trendu odtoku, který jej použil v povodí řeky Karatal byl Kaldybayev a kol. (2016), který stejně jako na zkoumaných povodích této práce zjistil statisticky významný rostoucí trend, který byl významnější v zaledněných povodí. V nezaledněných či jen sporadicky zaledněných ukazovaly výsledky rostoucí trend jen slabý, což odpovídá výsledkům zjištěným na řece Kara-Balta, kde nebyl zaznamenán trend statisticky významný.

Překvapujícím zjištěním bylo, že v povodí řeky Alamedin nebyl nalezen žádný trend v srpnu a v červenci byl dokonce pro období po roce změny nalezen trend klesající. To, že se nejedná o chybu ve volbě testovací metody, nám potvrdil i Kaldybayev a kol. (2016), který ke stejnému výsledku došel i na dílčích povodích řeky Karatal, u kterých zjistil klesající trend pro měsíce červenec, srpen a září a to i v celkem zaledněných územích (zalednění zde bylo na 14 % plochy povodí).

11. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjistit, zda dochází v oblasti Kyrgyzského hřbetu na sledovaných povodích ke změně trendu, jelikož je předpoklad, že v důsledku klimatického oteplování dochází k negativním změnám objemu ledovců, což pak ovlivňuje velikost odtoku. Na základě výsledků bylo zjištěno, že v povodích řeky Ala-Arči a Alamedin, které mají ledovcovo-sněhový režim, dochází k nárůstu velikosti odtoku. Signifikantní nárůst odtoku nebyl zaznamenán pouze v srpnu, listopadu a prosinci na řece Alamedin. Na řece Kara-Balta, která je již pouze z malé části ovlivněna ledovci nebyl zjištěn žádný signifikantní trend odtoku. Co se týče vývoje srážek, byl na všech stanicích zaznamenán nárůst především v zimním období. Trend teplot je silně pozitivní a je ovlivněn i nadmořskou výškou, neboť v nižších nadmořských výškách byl zaznamenán větší počet trendů ve zkoumaných časových řadách.

Časové řady odtoku nejsou v případě použití absolutní homogenity homogenní, Mann-Whitney-Pettit test objevil na všech třech řekách velké množství nehomogenit, které byly potvrzeny i dalšími testy absolutní homogenity (Wilcoxonův dvouvýběrový test a Kruskal-Wallisův test). V celé řadě měsíců byl zjištěn více jak jeden rok změny. Ze všech bodů zlomu je však možné vyčíst období, ve kterém došlo na řekách k nejvýraznější změně. U řek Ala-Arča a Kara-Balta bylo vysledováno období změny okolo roku 1987, u řeky Alamedin to pak je rok 1990.

V případě použití relativního testu homogenity (Alexandersonův test) se již časové řady jeví více homogenní, což nám dokládá závislost množství srážek na velikosti odtoku, jelikož jako referenční řada byla použita řada srážek zprůměrovaných ze čtyř stanic a pak také data srážek z homogenní stanice Chon-Arik. Nehomogenita při použití relativních testů se vyskytovala v datech odtoku především v zimních měsících.

Z hlediska rozložení odtoku je nejdominantnějším měsícem červenec, kdy odteče největší množství vody na všech třech řekách, rozdíl mezi řekami s ledovcovo-sněhovým režimem a sněhovo-ledovcovým režimem je ve velikosti odtoku druhého měsíce, neboť u řek Ala-Arča a Alamedin se jedná o srpen, jelikož jsou řeky zásobovány ledovcovou vodou, kdežto u řeky Kara-Balta se jedná o červen, ve kterém je dominantní tání sněhové pokrývky ve vysoko položených částech povodí. Při pohledu na roky s nejvyšším odtokem, můžeme většinu hledat ve 21. století.

Na základě úbytku ledovců, který byl pozorován řadou autorů v povodí řeky Ala-Arča (Bolch, 2015 a Aizen a kol., 2006), a stále vzrůstající teploty, která byla zjištěna na datech z dostupných

stanicích, je možné předpokládat, že především na řekách s ledovcovo-sněhovým režimem bude docházet k pokračujícímu rostoucímu trendu odtoku a ke zvyšování množství odteklé vody v jednom roce, což může významně ovlivnit životy lidí žijících v blízkosti.

12. ZDROJE

AIZEN, V. B., KUZMICHENOK, V. A., SURAZAKOV, A. B., AIZEN, E. M. (2006): Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data. *Annals of Glaciology*, 43, s. 202-213.

AIZEN, V. B., AIZEN, E. M., MELACK, J. (1995): Characteristics of runoff formation at the Kirgizskiy Alatau, Tien Shan. In: *Biochemistry of Seasonally Snow-Covered Catchments*. IAHS Publ., č. 228, s. 413–430.

AIZEN, V. B., AIZEN, E. M., MELACK, J.M. (1996): Precipitation, melt and runoff in the northern Tien Shan. *Journal of Hydrology*, 186, s. 226–251.

AIZEN, V. B., AIZEN, E. M., MELACK, J. M., DOZIER, J. (1997). Climatic and hydrologic changes in the Tien Shan, Central Asia. *Journal of Climate*, 10, č. 6, s. 1393-1404.

AUBEKEROV, B., GORBUNOV, A.P. (1999): Quaternary permafrost and mountain glaciation in Kazakhstan. *Permafrost and Periglacial Processes*, č. 10, s. 65–80.

BALOCCHI, F., PIZARRO, R., MEIXNER, T., URBINA, F. (2017): Annual and monthly runoff analysis in the Elqui River, Chile, a semi-arid snow-glacier fed basin. *Technologia y Ciencias del Agua*, VIII, č. 6, s. 23-35.

BEAULIEU, C., SEIDOU, O., OUARDA, T. B. M. J., ZHANG, X. (2009): Intercomparison of homogenization techniques for precipitation data continued: Comparison of two recent Bayesian change point models. *Water Resources Research*, 45, č. 8, 15 s.

BIRSAN, M.-V., MOLNAR, P., BURLANDO, P., PFAUNDLER, M. (2005): Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology*, 314, s. 312–329.

BOLCH, T. (2015): Glacier area and mass changes since 1964 in the Ala Archa Valley, Kyrgyz Alatau, northern Tien Shan. *Universität Zürich, Switzerland*, 12 s.

BURN, D. H., HAG ELNUR, M. A. (2002): Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 255, s. 107–122.

CARTURAN, L., DE BLASI, F., CAZORZI, F., ZOCCATELLI, D., BONATO, P., BORGA, M., DALLA FONTANA, G. (2019): Relevance and Scale Dependence of Hydrological Changes in Glacierized Catchments: Insights from Historical Data Series in the Eastern Italian Alps. *Water*, 11, č. 89, 25 s.

ČERNÍK, A., SEKYRA, J. (1969): *Zeměpis velehor*. Academia, Praha, 396 s.

DZUNUSOVA, M. (2008): National report on the state of plant genetic resources for food and agriculture in Kyrgyzstan. Country report, 49 s.

EROCHIN, S. A., MAMATKANOV, D. M., TOZOVA, T. V. (2013): Vliv pohřbeného ledu na odtok řek severního Ťan-Šanu, Institut vodnych problem a hydroenergetiky, Biškek, s. 10.

FALÁTKOVÁ, K., ŠOBR, M., KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2014): Hydrological regime of Adygine lake, Tien Shan, Kyrgyzstan. *Geografie*, 119, č. 4, s. 320–341.

FALÁTKOVÁ, K., ŠOBR, M., NEUREITER, A., SCHÖNER, W., JANSKÝ, B., HÄUSLER, H., ENGEL, Z., BENEŠ, V. (2019). Development of proglacial lakes and evaluation of related outburst susceptibility at the Adygine ice-debris complex, northern Tien Shan. *Earth Surface Dynamics*, 7(1), 301-320.

HAGG, W., HOELZLE, M., WAGNER, S., MAYR, E., KLOSE, Z. (2013). Glacier and runoff changes in the Rukhk catchment, upper Amu-Darya basin until 2050. *Global and planetary change*, 110, 62-73.

HÄNGGI P., WEINGARTNER, R. (2011): Inter-annual variability of runoff and climate within the Upper Rhine River basin, 1808–2007. *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, 56, č. 1, s. 34-50.

HANNAFORD, J., BUYS, G. (2012): Trend in seasonal river flow regimes in the UK. *Journal of Hydrology*, 475, s. 158-174.

HAN, T., GAO, M., YE, B., JIAO, K. (2013): Characteristics of melt water discharge in the Glacier No. 1 basin, headwater of Urumqi River. *Journal of Hydrology*, 489, s. 180–188.

HELSEL, D. R., FRANS, L. M. (2006): Regional Kendall Test for Trend. *Environmental science & Technology*, 40, č. 13, s. 4066-4073.

HODGSON, D.A., HOGAN, K., SMITH, J.M., SMITH, J.A., HILLENBRAND, C.-D., GRAHAM, A.G.C., FRETWELL, P., ALLEN, C., PECK, V., ARNDT, J.-E., DORSCHER, B., HÜBSCHER, CH., SMITH, A.M., LARTER, R. (2018): Deglaciation and future stability of the Coats Land ice margin, Antarctica. *The Cryosphere*, 12, s. 2383-2399.

CHEVALLIER, P., POUYAUD, B., MOJAĚSKY, M., BOLGOV, M., OLSSON, O., BAUER, M., FROEBRICH, J. (2014): River flow regime and snow cover of the Pamir Alay (Central Asia) in a changing climate. *Hydrological Sciences Journal*, 59, č. 8, s. 1491–1506.

ITIBAEV, Z. (2015): Newsletter-Current climate status and change in the Kyrgyz Republic. Ministry of Emergency situations of the Kyrgyz Republic, Bishkek, s. 32.

JEDLIČKOVÁ, Š. (2016): Změna odtoku vody ve velehorském protředí, případová studie Kyrgyzský hřbet, Ťan-Šan. Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, s. 62.

KALDYBAYEV, A., CHEN, Y., ISSANOVA, G., WANG, H., MAHMUDOVA, L. (2016): Runoff response to the glacier shrinkage in the Karatal river basin, Kazakhstan. *Arabian Journal of Geosciences*, 208, č. 9, 8 s.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M., LEDVINKA, O., KRÁLOVEC, V. (2011): Trend analysis of rainfall-runoff regimes in selected headwater areas of the Czech Republic. *J. Hydrol. Hydromech.*, 59,1, s. 36–50.

KOPPEs, M., GILLESPIE, A. R., BURKE, R. M., THOMPSON, S. C., STONE, J. (2008): Late Quaternary glaciation in the Kyrgyz Tien Shan. *Quaternary Science Reviews*, 27, s 846–866.

KRIEGEL, D., MAYER, CH., HAGG, W., VOROGUSHYN, S., DUETHMANN, D., GAFUROV, A., FARINOTTI, D. (2013): Changes in glacierisation, climate and runoff in the second half of the 20th century in the Naryn basin, Central Asia. *Global and Planetary Changes*, 110, s. 51-61.

LÁSKA K. (2009): Meteorologické přístroje a pozorování. Masarykova Univerzita v Brně, s.14.

LEDVINKA, O. (2008): Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy. Diplomová práce, Přf UK, Praha, 138 s.

LIU, C., HAN, T. (1992): Relation between recent glacier variations and climate in the Tien Shan mountains, Central Asia. *Annals of Glaciology* 16, s. 11–16.

MA, Z., KANG, S., ZHANG, L., TONG, L., SU, X. (2008): Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. *Journal of Hydrology*, 352, s. 239–249.

MALLAKPOUR, I., VILLARINI, G. (2016): A simulation study to examine the sensitivity of the Pettitt test to detect abrupt changes in mean. *Hydrological sciences journal – journal des sciences hydrologiques*, 61, č. 2, s. 245–254.

MARCHENKO, S. S., GORBUNOV, A. P., ROMANOVSKY, V. E. (2007): Permafrost warming in the Tien Shan Mountains, Centra Asia. *Global and Planet Change*, 56, s. 311.-327.

- MIKOLAICHUK, A. V., APAYAROV, F. K., BUCHROITHNER, M. F., CHERNAVSKAJA, Z. I., SKRINNIK, L. I., GHES, M. D., NEYEVIN, A. V. CHARIMOV, T. A. (2008): Geological Map ok Khan Tengri Massif. ISTC Project No. KR-920, Bishkek, s. 127.
- MOLDOBEKOV, M.D. A KOL. (2018): Katalog ledovců Kyrgyzstánu. CAIS, 709 s.
- NÁROŽOVÁ, M. (2013): Imputace chybějících hodnot v rozsáhlých datových souborech. Diplomová práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Olomouc, 84 s.
- NETOPIL, R. (1972): Hydrologie pevnin. Academia, Praha, 296 s.
- PEŠOUT, P. (2017a): Ochrana přírody v Kyrgyzstánu I. Ochrana přírody 1/2017, AOPK ČR Praha, s. 43-48.
- PEŠOUT, P. (2017b): Ochrana přírody v Kyrgyzstánu II. Ochrana přírody 2/2017, AOPK ČR Praha, s. 38-43.
- RØHR, P., KILLINGTVEIT, Å. (2003): Rainfall distribution on the slopes of Mt Kilimanjaro. Hydrological Sciences-Journal, 48, č. 1, s. 65-77.
- ŘEHÁNEK, T., KŘÍŽ, V. (2002): Cvičení z hydrologie. In: Ledvinka, O. (2008): Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 138 s.
- SHAHGEDANOVA, M., AFZAL, M., SEVERSKIY, I., USMANOVA, Z., SAIDALIYEVA, Z., KAPITSA, V., KASATKIN, N., DOLGIKH, S. (2018): Changes in the mountain river discharge in the northern Tien Shan since the mid-20th Century: Results from the analysis of a homogeneous daily streamflow data set from seven catchments. Journal of Hydrology, 564, s. 1133-1152.
- SCHÖNWIESE, C., D., RAPP, J. (1997): Climate Trend Atlas of Europe Based on Observations 1891-1990. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 228 s.
- ŠTĚPÁNEK, P. (2005): Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření. Disertační práce. Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, 137 s.
- TAKEUCHI, N., FUJITA, K., AIZEN, V. B., NARAMA, CH., YOKOYAMA, S., NAOKI, K., KUBOTA, J. (2014): The disappearance of glaciers in the Tien Shan Mountains in Central Asia at the end of Pleistocene. Quaternary Science Reviews, 103, s. 26-33.
- VISNEVSKI, Y. S. (1937): Ledník Golubina v Kyrgyzskom hřebte [Golubria Glacier in Kyrgyz range]. In: Aizen, V. B., Kuzmichenok, V. A., Surazakov, A. B., Aizen, E. M. (2006): Glacier changes in the

central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data. *Annals of Glaciology*, 43, s. 202-213.

YUE, X., ZHAO, J., LI, Z., ZHANG, M., FAN, J., WANG, L., WANG, P. (2017): Spatial and temporal variations of the surface albedo and other factors influencing Urumqi Glacier No. 1 in Tien Shan, China. *Journal of Glaciology*, 63, č. 241, s. 899-911.

ZHOU, H., AIZEN, E., AIZEN, V. (2017): Seasonal snow cover regime and historical change in Central Asia from 1986 to 2008. *Global and Planetary Change*, 148, s. 192-216.

Elektronické zdroje:

ENCYCLOPEDIA BRITANICA (2019a): Asie. Encyclopaedia Britannica, Inc. Dostupné z: <https://www.britannica.com/place/Asia>. [cit. 26.2. 2019]

ENCYCLOPEDIA BRITANICA (2019b): Tien Shan. Encyclopaedia Britannica, Inc. Dostupné z: <https://www.britannica.com/place/Tien-Shan>. [cit. 26.2. 2019]

GEOLOGICKÁ MAPA KYRGYZSKÉHO HŘBETU 1:200 000. Dostupné z: www.kyrgyzstan.ethz.ch [cit.27.2.2019]

GEOPORTAL OF KYRGYZSTAN (2016). Geology of Kyrgyzstan. Dostupné z: <http://www.geoportalkg.org/index.php/geology/about-geology> [cit. 20.4.2016]

MONTHLY OBSERVATION DATA MAP (2017). NOAA, Dostupné z: <https://gis.ncdc.noaa.gov/maps/ncei/cdo/monthly>. [cit. 26.2. 2019]

ZÁHORA, J. (2005): Učebnice statistiky. Univerzita Karlova. Dostupné z: <https://publi.cz/books/201/Cover.html> . [cit. 26.2.2019]

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Průměrné měsíční srážky na stanicích Baitik, Biškeek, Alplager, Ala-Arča, Chon Arik a Tuja Ašu z dostupných let

	Baitik	Biškeek	Alplager	Ala-Arča	Chon Arik	Tuja Ašu
Leden	19,5	24,9	20,7	9,0	27,9	33,0
Únor	25,7	30,3	24,9	18,0	32,6	40,0
Březen	49,0	51,1	42,7	37,5	74,1	59,7
Duben	77,6	70,0	71,0	81,2	109,7	76,3
Květen	93,1	61,5	84,9	114,9	93,1	92,9
Červen	72,3	36,7	76,5	111,1	56,0	93,3
Červenec	55,0	19,2	67,3	92,7	26,1	80,3
Srpen	29,6	12,1	34,7	74,2	18,7	52,7
Září	26,5	17,0	31,9	55,5	21,0	52,1
Říjen	41,6	37,5	45,5	51,9	51,1	70,3
Listopad	35,5	40,0	37,1	35,0	46,7	54,2
Prosinec	23,6	29,1	27,8	15,3	30,7	40,9

Příloha č. 2: Průměrné měsíční teploty na stanicích Baitik, Biškeek, Alplager a Tuja Ašu z dostupných let

	Baitik	Biškeek	Alplager	Tuja Ašu
Leden	-4,9	-3,7	-7,7	-13,1
Únor	-4,0	-1,9	-6,6	-11,7
Březen	0,6	4,4	-2,6	-8,1
Duben	7,0	12,0	3,5	-2,8
Květen	11,5	17,1	7,5	1,7
Červen	15,7	22,0	11,1	5,3
Červenec	18,3	24,8	13,2	7,8
Srpen	17,4	23,3	12,5	7,9
Září	12,5	17,9	8,4	3,9
Říjen	6,5	10,7	3,3	-1,6
Listopad	0,8	3,2	-1,3	-6,5
Prosinec	-3,0	-1,9	-5,0	-11,3