

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**VLIV SUCHA NA ZEMĚDĚLSKÉ VÝNOSY
V POVODÍ ŘEKY METUJE**

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Lukáš Jačka

VYPRACOVALA: Aneta Vaňková

2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování
Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vaňková Aneta

Krajinářství

Název práce

Vliv sucha na zemědělské výnosy v povodí řeky Metuje

Anglický název

Impact of drought on crop yields in catchment of the river Metuje

Cíle práce

Cíle bakalářské práce jsou: 1) Zpracovat literární rešerši způsobu stanovení agronomického sucha a vlivu sucha na zemědělské výnosy. 2) Shromáždit a vyhodnotit hydrologická, meteorologická data a údaje o výnosech pro povodí Metuje. 3) Vyhodnotit vliv sucha na zemědělské výnosy hlavních hospodářských plodin.

Metodika

1) Rešerše způsobu výpočtů indikátorů agronomického sucha a výběr vhodného indexu pro povodí Metuje. 2) Příprava dat pro povodí Metuje. Zpracování výnosů hlavních zemědělských plodin, meteorologických a hydrologických dat. 3) Výpočet vybraných indexů sucha pro vybrané povodí. 4) Vyhodnocení vlivu sucha na výnosy, stanovení mezních hodnot indexů sucha.

Harmonogram zpracování

VII - XI 2012 - rešerše indikátorů sucha a výběr vhodného indexu

X-XII 2012 - příprava dat pro povodí Metuje (výnosy hlavních zemědělských plodin, meteorologická a hydrologická data, hydrologická bilance povodí)

I-III 2013 - výpočet vybraných indexů sucha, vyhodnocení vlivu sucha na výnosy, stanovení mezních hodnot indexů sucha

III-IV - zpracování výsledků, vytvoření práce

Termín odevzdání bakalářské práce k finální revizi do 15. dubna.

Rozsah textové části

30 stran

Klíčová slova

Agronomické sucho, zemědělské výnosy, vodohospodářská bilance, indexy sucha

Doporučené zdroje informací

Briffa K. R. (1994) Summer moisture variability across Europe, 1892–1991: An analysis based on the palmer drought severity index. *International Journal of Climatology*, 14, 475–506.

Hlavinka P., Trnka M., Semerádová D., Dobrovský M., Žalud Z., Možný M. (2009) Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 431–442.

Holková L., Melišová L., Bradáčová M., Mikulková P., Ehrenbergerová J. (2010) Možnosti hodnocení tolerance odrůd ječmene k suchu. *Kvasný průmysl*, 56(3), 118–122.

Novický et al. (2010) Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Závěrečná zpráva projektu SP/1a6/125/08, 170 s.

Vedoucí práce

Jačka Lukáš, Ing.

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 20.6.2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Lukáše Jačky. V seznamu literatury jsem uvedla veškeré literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze

Poděkování

Chtěla bych na tomto místě poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Jačkovi za pomoc při vypracovávání této práce, velmi trpělivý přístup a ochotu.

V Praze

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vlivem agronomického sucha na výnosy vybraných plodin v měřítku okresu. První teoretická část je zaměřena zejména na vymezení agronomického sucha a jeho dopady na rostliny. Dále tato část obsahuje přehled indexů sucha a jejich charakteristiku. Hlavní část práce je věnována vlivu agronomického sucha na produkci hlavních zemědělských plodin v povodí řeky Metuje v okrese Náchod. Pro hodnocení vlivu sucha byly vybrány indexy P-T (poměr srážek ku teplotě) a P-E index (poměr srážek ku evapotranspiraci). Byl zvolen měsíční krok indexů. Testováno bylo delší období 1961 - 2010 a vybrané dekády s výrazně suchými roky. V delším období nebyl vliv sucha výrazný. Vliv sucha v této oblasti se pravděpodobně projevuje pouze v kratších časových úsecích - v dekáдах. Vyšší korelace pro povodí Metuje se projevily například v období května v období 1970 až 1980 pro plodinu ječmen (0,64) nebo žito (0,53). V povodí Metuje se ovšem vyskytl i opačný jev. Jedná se o vliv převlhčení na výnosy zemědělských plodin, a to hlavně v červenci v období sklizně. Příkladem je vysoká záporná hodnota korelačního koeficientu (-0,79) pro žito v letech 1970 až 1980

Klíčová slova: Agronomické sucho, zemědělské výnosy, vodohospodářská bilance, indexy sucha

Impact of drought on crop yields in catchment of the river Metuje

Abstract

The bachelor thesis deals with the influence of the agricultural drought on selected crop yields in the district scale. First theoretical part of the thesis is focused mainly on the definition of agricultural drought and its impact on crops. This part also includes review and description of drought indexes. The main part is concentrated on the effect of drought on important crop yields in the district Náchod. Two indexes, precipitation-evapotranspiration ratio and precipitation-temperature ratio were used. For calculations of indexes, input meteorological data were aggregated to the monthly step. Two periods were tested, longer period 1961-2010 and selected decades with frequent distinct drought spells. The effect of drought for the longer period was not noted. The drought probably influenced yields in shorter periods (in selected decades). The higher correlations of indexes with yields occurred for May period in years 1970 – 1980 e.g. for barley (0,64) and rye (0,53). We noted also the opposite phenomenon, effect of the over-humidification on crop yields, especially in July during the harvest. The high negative correlation were founded e.g. for rye (-0,79) in 1970–1980.

Key words: agricultural drought, yields, water management balance, drought indicators

OBSAH

1. ÚVOD	9
1.1 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	10
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
2.1 SUCHO	11
2.2 DEFINICE SUCHA A JEHO DĚLENÍ	12
2.2.1 <i>Klasifikace sucha</i>	13
2.2.1.1 Meteorologické sucho	14
2.2.1.2 Hydrologické sucho	15
2.2.1.3 Socioekonomické sucho	15
2.2.1.4 Další typy sucha	16
2.3 AGRONOMICKÉ SUCHO	16
2.3.1 <i>Vláhové požadavky rostlin</i>	18
2.3.2 <i>Vláhový režim půd</i>	19
2.4 DOPADY AGRONOMICKÉHO SUCHA	21
2.4.1 <i>Vliv sucha na rostliny</i>	22
2.5 HODNOCENÍ AGRONOMICKÉHO SUCHA, INDEXY SUCHA	25
2.5.1 <i>Palmerův index závažnosti sucha – PDSI</i>	26
2.5.2 <i>Z- index – index agronomického sucha</i>	27
2.5.3 <i>Crop Moisture Index (CMI)</i>	28
2.5.4 <i>Standardizovaný srážkový index – SPI</i>	28
2.5.5 <i>Index zásoby povrchové vody – SWSI</i>	28
2.5.6 <i>P-T index</i>	28
2.5.7 <i>P-E index</i>	29
3. METODIKA	30
3.1 ŘEŠENÉ ÚZEMÍ	30
3.2 DATA	31
3.2.1 <i>Hydrometeorologická data</i>	32
3.2.2 <i>Výnosy zemědělských plodin</i>	32
3.3 VÝPOČET INDEXŮ SUCHA	32
4. VÝSLEDKY	35
4.1 VÝSLEDKY INDEXŮ	40
5. DISKUSE	54
6. ZÁVĚR	56
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	58
8. PŘÍLOHY	60

1. ÚVOD

Téma sucha bývá nejčastěji spojováno s oblastmi Středomoří, Africké Sahary a Austrálie (Trnka a kol., 2007). V posledních desetiletích však způsobuje agronomické sucho velmi výrazné ekonomické škody také v Evropě. Vzpomeňme například suchem velmi často poškozované Řecko (Hlavinka et al, 2009). Česká republika nebyla v minulosti považována za oblast ohroženou agronomickým suchem. V současnosti se ale situace mění.

Podle Blinky (2004) se v České republice vyskytují až jednoletá či dokonce dvouletá sucha. Suchá období se v našich zeměpisných šířkách nadprůměrně vyskytují spíše v chladnější polovině roku. Co se týče vegetačního období plodin, bývají sucha dlouhodobě nadprůměrná pouze v průběhu září. V ročním průměru zůstávají v posledních dekádách srážkové úhrny poměrně stabilní, ale mění se jejich rozložení v průběhu roku. Objevují se delší období bez srážek a období s extrémnějšími úhrny.

Na výnosy plodin mají výrazný vliv především krátkodobá sucha o délce trvání několik týdnů až měsíců v důležitých fenologických fázích plodin ve vegetačním období. Tato sucha se v České republice vykytují často v posledních dekádách (rok 1976, 2001, 2002, 2003) a projevují se na snížení výnosů ve vybraných okresech (Hlavinka et al, 2009). Tyto suché epizody ovlivňují zejména výnosy jařin a méně ozimy, které nejsou k suchu tolik citlivé (Trnka, 2007). Krátkodobé sucho může vést k výraznému snížení nejen kvantity, ale i kvality výnosů zemědělských plodin.

Téma agronomického sucha je tedy pro naši republiku aktuální a je třeba se jím zabývat.

Komplexní studium sucha může přinést zásadní poznatky, které mohou pomoci detailně analyzovat výskyt tohoto přírodního jevu a jeho roli v charakteru klimatu daného území. Kromě toho mohou mít takto získané informace také praktický význam, protože nabízí podklady pro rozdělení plodin vhodných pro určitá území, umožňují určit nejvhodnější technologie pro zpracování půdy a usnadňují a zefektivňují výběr konkrétních plodin a odrůd. Např. pro sušší oblasti tak budou

zvoleny suchovzdorné plodiny, které tak poskytnou vyšší výnosy v daných podmínkách (Potop & Turkott, 2007).

V rámci České republiky byl vliv sucha na výnosy zemědělských plodin prokázán především na jižní Moravě a také ve srážkovém stínu Krušných hor. My jsme pro zpracování této bakalářské práce zvolili povodí Metuje. Jedním z důvodů byla dostupnost dat a také jejich částečné zpracování v rámci společného projektu Výzkumného ústavu vodohospodářského a České zemědělské univerzity „Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území České republiky“. V projektu jsou postupně zpracovávána data z různých oblastí České republiky. Tato práce se snaží přispět k tomuto projektu. Povodí Metuje je oblastí ohroženou hydrologickým suchem. Zajímalo nás tedy, zda a do jaké míry je ovlivněna suchem agronomickým. Povodí se nachází v podhorské oblasti. Jsou zde tedy jiné podmínky, jak klimatické, tak podmínky pro pěstování plodin než například na Moravě, kde již byl výrazný vliv agronomického sucha na výnosy prokázán.

V následující práci se nejprve zaměříme na teoretické vymezení sucha a jeho druhů s důrazem na agronomické sucho. Z dostupných zdrojů se pokusíme zachytit vztah mezi rostlinami a suchem. Dále v rešeršní části představíme nejdůležitější indexy agronomického sucha. V metodické části se pak budeme soustředit na vybranou oblast povodí Metuje s využitím některých dříve popsanych indexů.

1.1 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Prvním cílem bakalářské práce bylo rešeršní zpracování agronomického sucha, vlivu tohoto sucha na rostliny a způsobů výpočtů agronomického sucha.

Dalším úkolem bylo shromáždit data o výnosech zemědělských plodin, data hydrologická a meteorologická. Dále je za pomoci indexů sucha zpracovat.

Hlavním cílem této práce bylo zjistit, zda existuje souvislost mezi agronomickým suchem a výnosy vybraných zemědělských plodin v povodí Metuje.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 SUCHO

Voda je nezbytnou podmínkou pro život. Srážky determinují výskyt fauny a flóry a do značné míry ovlivňují také rozložení obyvatelstva. Stejně tak na druhou stranu pak biosféra působí na oběh vody na Zemi. Studium oběhu vody a zabezpečením dostatečného množství vody pro potřeby společnosti i krajiny se zabývá obor vodohospodářství.

Tato práce se bude zabývat především agronomickým suchem. Nejprve se však zaměříme obecně na téma sucha, tedy nedostatek vody, a jeho dopady. Člověk je ovlivňován dopady sucha přímo i nepřímo ve všech oblastech jeho života. Můžeme říci, že se člověk nachází na samotném vrcholu potravního řetězce, tedy celá lidská společnost je zcela zjevně závislá na přírodních zdrojích.

Člověk využívá vodních zdrojů ve své výrobní i nevýrobní činnosti. Říha (1987) se pokusil o třídění užívání vody, kdy zdůrazňuje, že jde pouze o pomocné členění, protože se prakticky vždy jedná o kombinované využívání vody. Užívání vody se tedy podle něho v mezinárodním měřítku dělí obvykle na:

- a) „přímou potřebu obyvatelstva
- b) veřejné vodovody
- c) průmyslovou potřebu
- d) zemědělskou potřebu
- e) chov ryb
- f) plavbu
- g) využití vodní energie
- h) rekreaci a tvorbu životního prostředí člověka
- i) transport odpadu“ (Říha, 1987 str. 127).

Všechny tyto oblasti lidské činnosti mohou být postihnuty nedostatkem vody. Je však třeba zohlednit také různá specifika či požadavky na vodní zdroje, které můžeme rozdělit na množství (kvantita), jakost (kvalita) a ostatní požadavky, jakými jsou např. hloubka vody, rychlost proudění apod. (Říha, 1987). Definice sucha se však vztahují téměř výhradně na množství, tedy nedostatek vody.

Studium sucha lze rozdělit do 4 kategorií. První z nich se zabývá příčinami sucha a snaží se o lepší porozumění atmosférické cirkulace spojené s výskytem sucha. Druhá kategorie vede studium k pochopení frekvence a intenzity sucha ve snaze charakterizovat pravděpodobnost výskytu sucha v různém rozsahu. Třetí kategorie usiluje o popsání a porozumění dopadu sucha, tyto studie se zaměřují na náklady a ztráty spojené se suchem, a to ekonomické, sociální i environmentální. Poslední kategorie pak shrnuje snahy o redukci dopadů spojených se suchem, tedy jejich zmírňování a strategie pohotovosti (Buyn & Wilhite, 2002).

2.2 DEFINICE SUCHA A JEHO DĚLENÍ

Sucho znamená pro každého něco jiného podle toho, jaké jsou jeho zájmy. Pro farmáře sucho znamená nedostatek vláhy pro kořeny jeho úrody. Pro hydrologa je to nižší hladina vody v řekách, jezerech a nádržích než je obvyklé. Pro ekonomu to znamená nedostatek vody, který nepříznivě ovlivňuje ekonomiku (Palmer, 1964).

Prakticky neexistuje jedna obecně platná definice sucha, která by zachytila všechny jeho proměnné, kritéria a souvislosti. Kromě srážek je třeba zvážit například teplotu vzduchu, vlhkost, výpar z vodní hladiny, transpiraci rostlin, půdní vlhkost, vítr, výšku hladiny podzemních vod a řek a samotný stav rostlin. V literatuře je možné najít různě obsáhlé a do různé míry specializované definice.

Například v meteorologickém slovníku (Sobíšek, 1993) se problematikou sucha zabýval RNDr. Vilibald Kakos. Popisuje sucho jako velmi neurčitý pojem, který je ovšem v meteorologii velmi často užívaný. Znamená v podstatě nedostatek vody v půdě, rostlinách i atmosféře. Jedná o deficit vody, který nepříznivě ovlivňuje různé sektory lidské společnosti, např. zemědělství, produkci vodně-elektrické energie, dodávku vody a průmysl (Panu & Sharma, 2002).

Sucho můžeme specifikovat jako relativně krátkodobé období, kdy výdej vody v prostředí převažuje nad jejím přívodem (Brázdil a Kirchner, 2007).

Blinka (2002) pojímá sucho poněkud úžeji. Podle něho můžeme sucho definovat jako deficit srážek vzhledem ke srážkám očekávaným (normálu), které se vyskytují obvykle v průběhu daného období. Normál pak představuje přibližně dlouhodobou rovnováhu mezi srážkami a evapotranspirací pro určité území.

V různých zeměpisných šířkách je sucho chápáno také rozdílně. Například ve Velké Británii označují suchem patnáct po sobě jdoucích dní, kdy nespadnou

srážky žádné nebo menší než 0,25 mm za den. V jiných zemích je pak naopak za suché považováno období až několika měsíců bez deště.

Sucho řadíme mezi přírodní rizika. Jeho dopady jsou méně nápadné, avšak postihují větší území než jiná přírodní rizika. Dopady sucha je možné rozdělit do tří kategorií: ekonomické, environmentální a sociální (Blinka, 2002).

Podle Holkové (2010, str. 119) je pak sucho „celosvětově považováno za jeden z nejzávažnějších stresových faktorů, který negativně ovlivňuje zemědělskou produkci“. Právě na rostlinách je působení sucha nejrychleji a nejzjevněji patrné. V důsledku sucha rostliny vadnou, ztrácí své životní funkce. Jestliže pak sucho překročí určitou hranici, hrozí další nebezpečí, jaké představují požáry ze sucha. (Allaby, 2003).

Sucho se vyznačuje pomalým vznikem a rozvojem, který trvá měsíce. Někdy se může vyskytovat celé sezóny, roky a dokonce i dekády. „Efekty působení sucha mají kumulativní charakter, velikost intenzity sucha se zvyšuje s každým dalším dnem. S dopady po suchu se setkáváme ještě několik let po výskytu normálních dešťů“ (Blinka, 2002 str. 33).

Neexistují jednotná kritéria pro kvantitativní vymezení sucha. Na problematiku sucha lze nahlížet z rozmanitých hledisek: meteorologického, hydrologického, zemědělského, bioklimatického a celé řady dalších i s ohledem na škody, které sucho způsobuje v různých oblastech národního hospodářství (Sobíšek, 1993).

2.2.1 KLASIFIKACE SUCHA

Wilhite (1991) uvádí, že existuje více než 150 publikovaných definic sucha. Vzhledem k potřebám jednotlivých oborů, které se suchem zabývají, je třeba rozlišit definice **meteorologického, agronomického, hydrologického a socioekonomického** sucha. Meteorologové pojmají sucho z hlediska předpokládaných srážek v daném období. Pokud hodnotíme množství půdní vláhly potřebné pro rostliny, nahlížíme na sucho z agronomického hlediska. Agronomické sucho, chápané jako nedostatek vody v půdě, nastává po meteorologickém suchu, ale přichází před hydrologickým. Hydrologické sucho je posuzováno podle výše hladin podzemních vod a vodních toků. První hospodářská oblast, kterou sucho zasáhne je zemědělství. Dochází ke snížení výnosů a následně také tržní ceny produktů, čímž je definováno socioekonomické sucho.

Nyní pro úplnost postupně představíme všechny uvedené druhy sucha. Dále se pak konkrétněji a podrobněji zaměříme na agronomické sucho.

2.2.1.1 METEOROLOGICKÉ SUCHO

Pojem meteorologické sucho označuje nedostatek srážek, množství srážek je pod hranicí hodnot považovaných za normální. Tento nedostatek bývá rychle postřehnut a zachycen. Meteorologické sucho je předmětem řady studií (Panu & Sharma, 2002)

O meteorologickém suchu hovoříme, pokud vzájemná bilance srážek a výparu nabývá záporných hodnot. Stupeň sucha je hodnocen na základě srovnání s „normální“ nebo průměrnou výší a dobou trvání suchého období. Hlavními charakteristikami meteorologického sucha jsou tedy intenzita a trvání (Trnka, 2010).

Kakos (Sobíšek, 1991 str. 310) popisuje meteorologické sucho jako „sucho definované nejčastěji časovými a prostorovými srážkovými poměry, např. výskytem suchého nebo vyprahlého období. Kromě množství a intenzity spadlých srážek vztahených k dlouhodobým srážkovým normálům pro dané místo a roční dobu, stanovili mnozí autoři různé definice meteorologického sucha v závislosti i na dalších meteorologických prvcích, a to hlavně na výparu aj, pomocí klimatologických indexů“. Rožnovský (2012) pak uvádí další meteorologické proměnné, na nichž sucho závisí. Patří mezi ně kromě již zmíněného výparu také teplota vzduchu, rychlost větru, vlhkost vzduchu a další.

V důsledku epizod meteorologického sucha dochází např. ke snížení výnosů plodin či poklesu průtoků řek. Míra jeho dopadu závisí nejen na délce a intenzitě dané epizody meteorologického sucha, ale také na období, ve které se vyskytne vzhledem k fenologické fázi plodiny. Zmírnit následky sucha pak mohou některá opatření jako např. využívání závlahy, nebo zvýšení průtoků z vodních rezervoárů. (Trnka et al., 2009).

V důsledku dlouhotrvajícího meteorologického sucha nastává sucho agronomické, kterým se bude zabývat v samostatné kapitole. Po agronomickém suchu pak nastává sucho hydrologické.

2.2.1.2 HYDROLOGICKÉ SUCHO

Hydrologické sucho se zabývá vlivem suchých období na povrchové a podzemní vody, případně zachycuje sílu a objem proudu vodních toků (Panu & Sharma, 2002).

Podle Kakose je hydrologické sucho suchem definovaným pro povrchové toky určitým počtem za sebou jdoucích dní, týdnů, měsíců i roků s výskytem relativně velmi nízkých průtoků vzhledem k dlouhodobým měsíčním či ročním normálům. Vyskytuje se zpravidla ke konci déle trvajícího období sucha, ve kterém nepadaly kapalně ani smíšené srážky. Obdobná kritéria je možné použít i pro stavy hladin podzemních vod a vydatnosti pramenů. (Sobíšek, 1993).

Hydrologickým suchem označujeme stav, kdy klesne zásoba vody pod její minimální potřebu v dané oblasti, tedy aktuální průtok a dostupnost vody je menší než minimální spotřeba v dané oblasti. Dochází k němu v důsledku kombinace několika meteorologických jevů, především srážek a teploty. Lze jej vyjádřit pomocí tzv. deficitů povrchových a podpovrchových zásob vody (Blinka, 2004).

Hydrologické sucho můžeme také definovat jako výrazný pokles dostupnosti vody ve všech formách v pozemské fázi hydrologického cyklu. V období hydrologického sucha je obsah ve vodních tocích, nádržích, jezerech i v půdě pod obvyklým průměrem (Novický, 2011).

Hydrologické sucho se vlivem retardačních účinků často vyskytuje i v době, kdy již meteorologické sucho dávno odeznělo a naopak, při výskytu meteorologického sucha se ještě vůbec nemusí projevit (Sobíšek, 1993). Dlouhotrvající hydrologické sucho přináší problémy se zásobováním vodou, klesá průtok ve vodních tocích a způsobuje výrazné změny vodních ekosystémů. Důsledkem často vzniká socioekonomické sucho, které představuje vážné dopady na společnost a hospodářství (Heim, 2002).

2.2.1.3 SOCIOEKONOMICKÉ SUCHO

Socioekonomické sucho představuje socioekonomické účinky meteorologického, agronomického a hydrologického sucha spojené s dodávkou a poptávkou vody společností (Narasimhan, 2004).

Socioekonomické sucho je stav, kdy voda nepostačuje pro sociální a ekonomické aktivity. Jedná se především o nedostatek pitné vody pro obyvatele,

užitkové vody pro průmysl, nedostatek vody pro hydroelektrárny, zemědělskou výrobu apod.

Obecně můžeme předpokládat, že ekonomické sucho nastane po závažném působení meteorologického, hydrologického a agronomického sucha. Jejich vlastní působení při tom dokonce může být odvráceno, ale nedostatek vody nelze nahradit a má sociální či ekonomické důsledky (Heim, 2002).

2.2.1.4 DALŠÍ TYPY SUCHA

V meteorologickém slovníku nalezneme kromě výše uvedených základních typů sucha také pojem **atmosférické sucho**. Je popsán jako nevhodný název pro sucho meteorologické, který zavedl W. Knochenhauer. Dále **sucho fyziologické** je podle Kakose nedostatek vody z hlediska potřeb jednotlivých druhů rostlin. Např. rašelinné či jílovité půdy nebo zmrzlá půda je někdy fyziologicky suchá, ačkoliv obsahuje dostatek vody (Vašků, 2001). Nakonec uvádí **sucho nahodilé**, kdy se jedná o nepravidelně se vyskytující období podnormálních srážek, trvajících několik týdnů, měsíců i roků, bývá často doprovázené nadnormálními teplotami, nižší poměrnou vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem hodin slunečního svitu (Sobíšek, 1993).

Jůva (1959) pracuje také s termínem **klimatické sucho**. Klimatické sucho je způsobeno kombinací meteorologických a klimatických podmínek. Je důsledkem především nedostatečných nebo nevhodně se vyskytujících srážek, vysokou teplotou a výparem.

Rožnovský (2012) dále uvádí **sucho půdní**, které je definováno pro půdy pomocí půdních hydrolimitů apod. Jedná se o nedostatek vody v kořenové části půdního profilu. Tento deficit vyvolává u rostlin stresové reakce, které nepříznivě ovlivňují jejich vývoj.

Nyní se podrobně zaměříme na agronomické sucho, které je hlavním tématem této práce.

2.3 AGRONOMICKÉ SUCHO

Agronomické sucho představuje nedostatek vody v půdě ovlivněný předchozím nebo ještě nadále trvajícím výskytem meteorologického sucha. „Z dalších vlivů mají značný význam vlastnosti půdy, úroveň zemědělské techniky, která se v dané oblasti používá, a celá řada dalších faktorů. Definice agronomického

sucha je velmi obšírně diskutovaným problémem, který předpokládá podrobnější znalosti z hydroopedologie, rostlinné fyziologie, zemědělské ekonomiky apod.“ (Sobíšek, 1993 str. 310).

Agronomické sucho je pravděpodobně nejdůležitějším aspektem sucha, jeho studium je však o to komplikovanější a vyžaduje přesnou specifikaci. Studium agronomického sucha se často zabývá oblastí fyzikálních vlastností půdy, fyziologií rostlin a zemědělskou ekonomikou. Výsledky jsou pak limitované už samotným výběrem oblasti zájmu. Aplikovatelné závěry pak lze získat pouze pro konkrétní plodiny za specifických podmínek půdy a kultivačních postupů (Palmer, 1965).

Zjednodušeně můžeme shrnout pojem agronomické sucho tak, že vlhkost půdy dostupná rostlinám klesla na hladinu, která nepříznivě ovlivňuje úrodu plodin a tudíž zemědělskou produkci (Panu & Sharma, 2002).

Někdy bývají oddělovány pojmy zemědělské a agronomické sucho, kdy agronomické sucho představuje část sucha zemědělského – týká se pouze produkce zemědělských plodin. Zemědělské sucho je vztaženo celkově k zemědělství a lesnictví. Obecně se pojem zemědělské sucho týká celkové produkce dřevin i plodin a také živočišné produkce. (Bidwell, 1973).

Celkově jsou zemědělská sucha vždy místní, tedy typické pro danou lokalitu, a ovlivňují produkci základních nezbytností, jako je jídlo, a tím také více pravděpodobně ovlivňuje ekonomiku daného regionu. Nejzávažnější je pak sucho v období růstu plodin, hydrologická analýza sucha tedy vyžaduje modifikaci pro studium sucha agronomického (Panu & Sharma, 2002). Vzhledem k tomu, že se zaměřujeme pouze na zemědělské plodiny, pracujeme přímo s termínem agronomické sucho.

Agronomické sucho je velmi komplexním pojmem, kdy nestačí zvážit pouze množství vody v půdě. Vždy musíme brát v úvahu také konkrétní požadavky jednotlivých rostlin, dále je třeba zhodnotit hydroopedologické charakteristiky daného území a v neposlední řadě také agrotechnické a protierozní opatření v celém povodí.

Nyní se podrobněji zaměříme na dva nejdůležitější činitele pro pěstování plodin v oblastech, které jsou závislé na přírodních srážkách, a sice na vláhové požadavky rostlin a vláhový režim půd.

2.3.1 VLÁHOVÉ POŽADAVKY ROSTLIN

Každá rostlina potřebuje ke svému životu vodu. Voda je základním stavebním prvkem organické hmoty a pro rostliny je transportním médiem. Pro lepší představu uvádí Allaby (2003), že například bříza během svého růstu „přečerpá“ z půdy do atmosféry prostřednictvím listů přibližně 360 litrů vody. K vypěstování jedné tuny pšenice je pak potřeba 1,5 tuny vody a na vypěstování tuny bavlny se spotřebuje zhruba 10 000 tun vody.

Při nedostatku vody nastává u rostlin tzv. vodní stres, který se projevuje snižováním růstu a množstevních a jakostních výnosů. V důsledku velkého vodního stresu začíná rostlina vadnout a usychá (Taiz et Zeiger, 2002).

Odolnost rostlin vůči suchu je různá, stejně jako jejich vláhové požadavky. Pro ilustraci uvádíme tabulku 1, která shrnuje vláhové požadavky vybraných zemědělských plodin v průběhu jarních a letních měsíců.

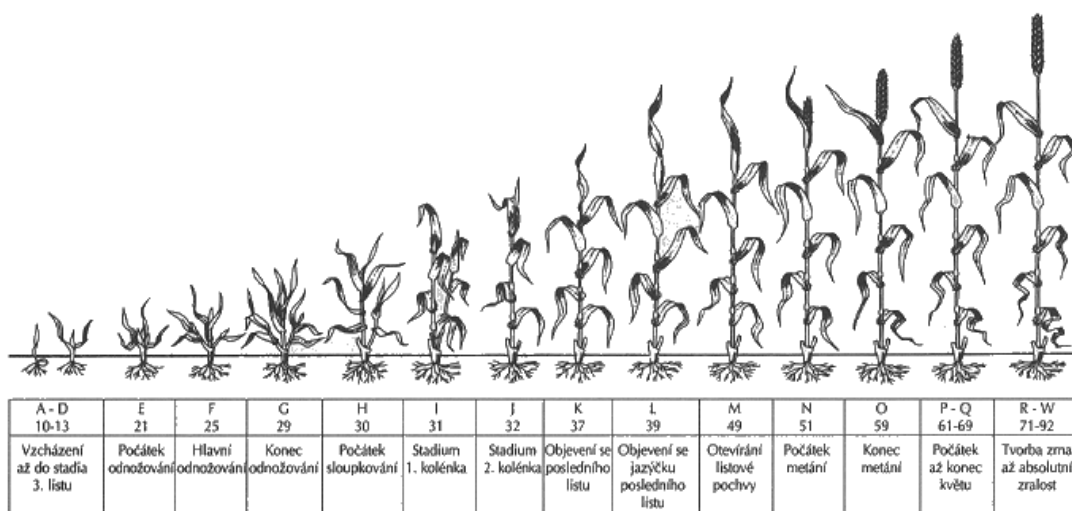
Kultura	měsíc	duben	květen	červen	červenec	srpen	září
	průměrná teplota °C	8 °C	13 °C	16 °C	18 °C	17 °C	14 °C
ozimé žito		35	70	70	45	-	-
ozimá pšenice		35	65	70	60	-	-
jarní pšenice		45	65	70	60	-	-
Oves		50	65	75	60	-	-
jarní ječmen		50	60	70	45	-	-
ozimý ječmen		40	65	60	30	-	-
Kukuřice		-	50	60	70	65	50
Řepka		50	70	75	30	-	-
rané brambory		-	60	80	60	-	-
pozdní brambory		-	50	60	80	70	-

Tabulka 1 Vláhové požadavky zemědělských plodin v jarních a letních měsících

Vzhledem k výše uvedeným vláhovým požadavkům je zjevné, že k vodnímu stresu u rostlin může dojít i v období poměrně bohatém na srážky.

Nejenže se různí vláhové požadavky mezi rostlinami, potřeba vody se mění také v průběhu růstu jednotlivých rostlin. Hovoříme o tzv. fenologických fázích. Všechny kulturní rostliny potřebují vodu už od první vývojové fáze klíčení. Spotřeba vody se pak zvyšuje až do fáze kvetení. V této fázi se totiž zvětšuje transpirační a asimilační plocha nadzemní části rostliny. Po skončení kvetení se potřeba vody opět snižuje, až je ve fázi voskové zralosti zcela minimální. Tehdy rostliny zpravidla

odumírají (Kuklík, 1985). Jako příklad uvádíme fenologické fáze jarní pšenice v obrázku 1.



Obrázek 1 Fenologické fáze pšenice jarní

2.3.2 VLÁHOVÝ REŽIM PŮD

Při posuzování agronomického sucha je třeba dále pracovat s hydropedologickými charakteristikami. Závisí především na textuře a struktuře půdy a na půdním profilu.

Podle textury (zrnitosti) můžeme půdy rozdělit na:

1. Lehké - písčítá (p)
- hlinitopísčítá (hp)
2. Střední - písčitohlinitá (ph)
- hlinitá (h)
3. Těžké - jílovitohlinitá (jh)
- jílovitá (jv)
- jílní (j)

Každý z uvedených druhů půdy má rozdílnou schopnost zadržovat vodu. Aktuální zásoba vody v půdě je ovlivněna v první řadě srážkami a výškou hladiny podzemní vody. Pro růst rostlin však není směrodatné množství vody v půdě obecně (objemová vlhkost). Musíme zvážit všechny jednotlivé síly, které působí na vodu v půdním prostředí (Marshall et al., 1999). Hovoříme o potenciálu půdní vody. K popisu schopnosti půdy zadržovat vodu se používají tzv. **půdní hydrolimity**:

- „ - **maximální vodní kapacita** (maximální množství vody, které je půda schopna zadržet)
- **polní vodní kapacita** (obsah vody v půdě po ztrátě vody gravitační)
- **bod vadnutí** (obsah vody, při kterém již rostliny nejsou schopny překonat síly poutající molekuly vody v půdě)
- **maximální kapilární vodní kapacita** (schopnost půdy zadržovat vodu pro potřeby rostlin)
- **retenční vodní kapacita** (obsah vody zadržovaný v kapilárních pórech)“ (Sáňka & Materna, 2004, str. 14-15).

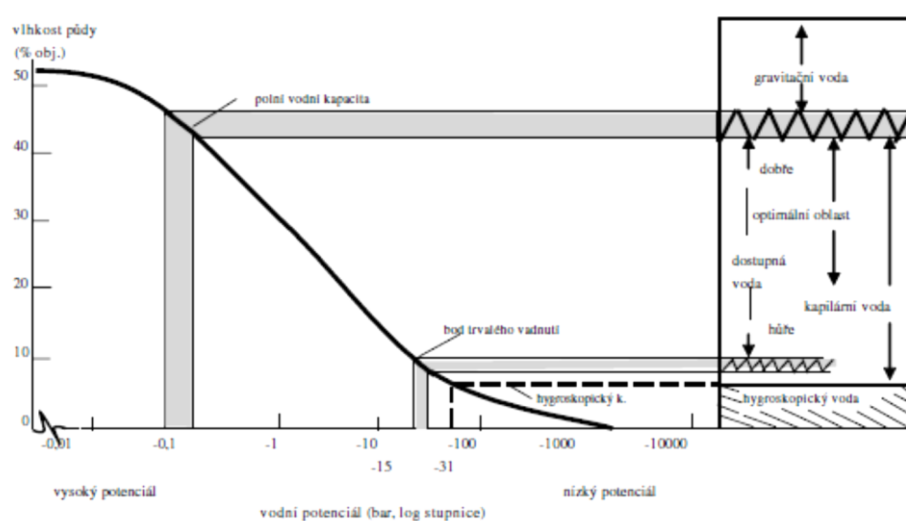
V literatuře můžeme nalézt orientační hodnoty rozsahů hydrolimitů. V tabulce 2 uvádíme průměrné hodnoty půd v České republice pro maximální kapilární vodní kapacitu.

horizont	druh půdy							celkem
	p	hp	ph	h	jh	ju	j	
	maximální kapilární vodní kapacita v %							
ornice	nd	30,73	34,87	35,24	37,77	41,26	46,48	35,07
podorničí	26,90	29,73	30,37	34,00	36,84	41,94	44,83	33,79
spodina	25,59	29,46	21,24	34,58	36,00	39,92	52,79	33,73

nd = nedefinováno (žádná plocha k dispozici)

Tabulka 2 Průměrné hodnoty maximální kapilární vodní kapacity pro jednotlivé druhy půdy. Výsledky hodnocení programu bazálního monitoringu půd (Kňákal, 2000)

Schematické znázornění rozložení hydrolimitů v závislosti na vodním potenciálu uvádíme na obrázku 2.



Obrázek 2 Vztah půdní vlhkosti a vodního potenciálu a půdní hydrolimity ve středně těžké půdě, v pravé části obrázku jsou uvedeny kategorie půdní vody s ohledem na její přístupnost pro rostliny (upraveno podle: Brady, 1999, in: Šimek, 2003)

Deficit půdní vláhy je třeba definovat pro jednotlivé hloubky půdního profilu s ohledem na zde pěstované plodiny. Sucho zasahuje různé vrstvy půdního profilu různě v závislosti na délce jeho trvání a intenzitě. Podle hloubky kořenového systému pak do různé míry zasahuje danou rostlinu. Obecně můžeme říci, že zakořeněnost jednoletých rostlin sahá do nižší hloubky než u plodin víceletých (Jůva, 1946). Z toho můžeme odvodit, že krátkodobé intenzivní sucho, které nejvíce zasáhne vrchní části půdy, nejvíce ohrožuje mělce kořenící (především jednoleté) rostliny. Dlouhotrvající sucho pak zasáhne i hlubší vrstvy půdního profilu, kde nepříznivě působí na hlubší kořenové systémy (víceletých) plodin (Burnash a Ferral, 1973).

2.4 DOPADY AGRONOMICKÉHO SUCHA

Sucho je přírodní riziko, jehož dopady nejsou sice tak nápadné, ale postihuje mnohem větší území než jiná přírodní rizika. Ačkoliv je obtížné kvantifikovat škody způsobené suchem, podle mnohých studií výrazně převyšují ztráty způsobené jinými přírodními neštěstími (Blinka, 2002).

Sucho škodlivě postihuje mnoho oblastí lidské činnosti, především zemědělství. (Jůva, 1959) Proto se budeme zabývat především dopady sucha agronomického, potažmo obecně sucha zemědělského. Výzkumy dopadu kolísání srážek se soustředí především na denní a srážkové úhrny. Kromě zemědělství jsou pak ztráty spojené s problémy se zásobováním vodou (Brázdil et al., 2003).

Blinka (2002) dělí dopady sucha na tři základní kategorie: ekonomické, environmentální a sociální dopady. Dále můžeme vymezit dopady přímé a nepřímé.

▪ **Ekonomické dopady**

První ztráty přímo spojené se suchem zasáhnou zemědělství. Dochází ke ztrátám výnosu z produkce, úhynu zemědělských zvířat a ryb. Následkem toho dochází ke zvýšení ceny jídla. Zprostředkovaně však tyto ztráty vedou také ke zvýšení cen energie, rostou náklady na dopravu a průmysl obecně, snižují se zisky z turistiky a rekreace apod. Důsledkem toho dochází k růstu nezaměstnanosti a celkově ke ztrátám ze státního rozpočtu.

▪ **Environmentální dopady**

Sucho nepříznivě působí na krajinu a prostředí, degraduje jejich diverzitu, snižuje kvalitu půdy, mění se ovzduší, vzniká nedostatek pitné vody. V důsledku

toto dochází k úhynu nebo migraci zvěře. S rostoucím suchem také roste riziko lesních požárů.

- **Sociální dopady**

Sucho velmi nepříznivě ovlivňuje lidskou společnost. Působením sucha se snižuje kvalita života, roste chudoba obyvatelstva, zhoršuje se zdraví, lidé migrují za lepšími životními podmínkami. Dokonce může docházet ke konfliktům mezi vlastníky a uživateli vodních zdrojů.

Výše uvedené dopady můžeme dále rozdělit na přímé a nepřímé:

- **Přímé dopady** jsou přímo způsobené nedostatkem vody. Patří sem např. snížení vodní hladiny, snížení produktivity půdy, zvýšená úmrtnost zvířat či zhoršení zdraví lidí.
- **Nepřímé dopady** jsou pak sekundárním důsledkem sucha, vznikají následkem dopadů přímých. Zprostředkovaně se v důsledku nedostatku vody snižuje příjem zemědělců, zvyšují se ceny potravin, energie i dřeva, roste nezaměstnanost a kriminalita, snižují se výnosy z turistiky a rekreace.

Projevy sucha přichází nenápadně během relativně dlouhého období (může jít o týdny až měsíce) a postupně se akumulují. Důsledky období sucha mohou přetrvávat i dlouho po skončení této epizody (Brázdil a Kirchner, 2007).

Nyní se zaměříme na rostliny, jejich vláhové požadavky a důsledky, které u nich sucho způsobuje.

2.4.1 VLIV SUCHA NA ROSTLINY

Sucho má rozdílné důsledky pro vývoj a produkci plodin během vegetačního a mimovegetačního období. Tomu se přizpůsobuje také plánování agrotechnických činností, které přímo i nepřímo ovlivňují další vývoj plodin i zásobu vody v půdě (Hershfield, 1973). Včasným agrotechnickým zásahem do půdy je možné ovlivnit zásobu vláhy v půdním profilu a také její další využití. Nejzávažnější dopady mají suchá období v době, kdy se má rozvíjet kořenový systém. V důsledku nedostatku půdní vlhkosti se kořenový systém nemůže dostatečně vyvinout, neproroste do větší hloubky (Váša, 1964). A jak již bylo zmíněno, plodiny s mělkým kořenovým systémem jsou velmi náchylné i na krátká období intenzivnějšího sucha.

Sucho pak také v závislosti na vegetační etapě rostlin ohrožuje v různém období různé druhy s rozdílnou mírou. Pro ilustraci uvádíme dva grafy, kde je znázorněna průměrná vláhová potřeba v průběhu vegetačního období pšenice (Obrázek 3) a kukuřice (Obrázek 4). Představme si, že sucho nastane například na přelomu března a dubna. Zatímco pěstitel kukuřice by pravděpodobně nezaznamenal žádné výrazné ztráty na výnosech, pro pěstitele pšenice by v tuto dobu mohlo sucho znamenat zásadní škody na úrodě (Erie, 1981).

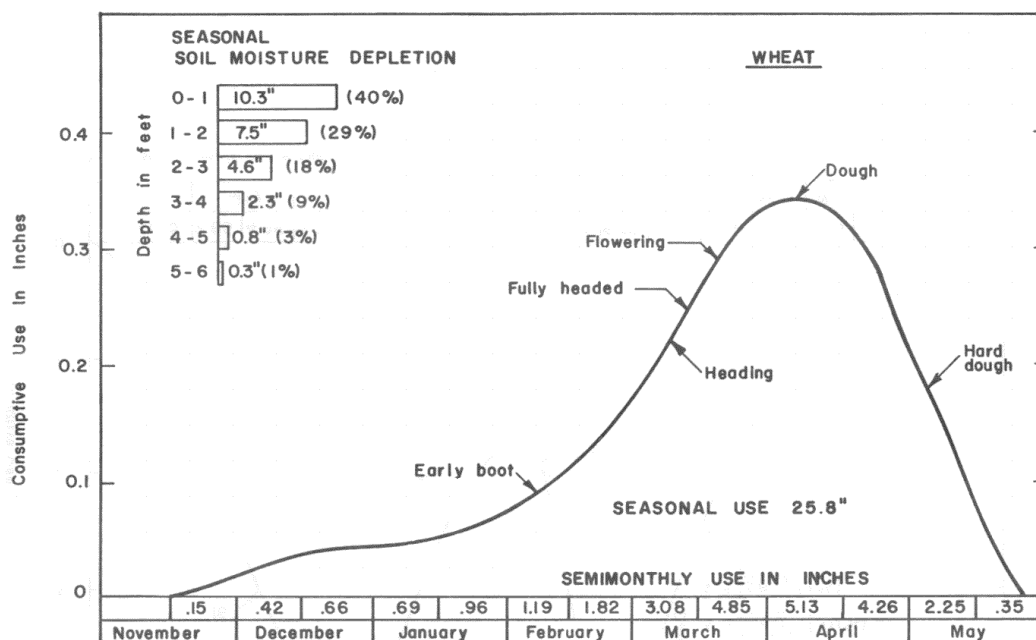


Figure 14.—Mean consumptive use for high-yielding wheats at Mesa, Ariz., 1969-70.

Obrázek 3 Erie – průměrná vláhová potřeba pšenice
<http://cals.arizona.edu/crop/irrigation/cusecharts.html>

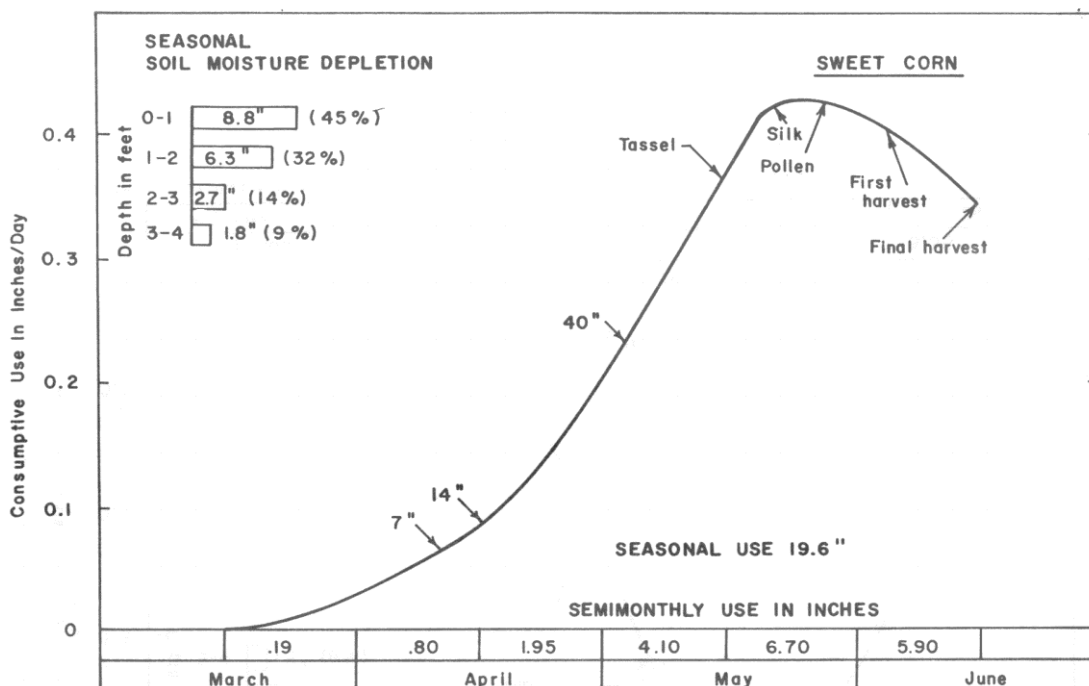


Figure 30.—Mean consumptive use for sweet corn at Mesa, Ariz., 1959, 1961-62.

Obrázek 4 Erie – průměrná vláhová potřeba kukuřice

(<http://cals.arizona.edu/crop/irrigation/cusecharts.html>)

Během dlouhotrvajícího sucha se snižuje odolnost rostlin vůči virovým, bakteriovým a houbovým chorobám a také proti živočišným škůdcům jako např. mšicím, plošticím, chroustům hrabošům apod. Rostliny totiž ztrácí mnoho energie samotným „zápasem“ o vodu, nezbyvá jim na ochranu a růst, ztrácí odolnost a život (Jůva, 1959).

Obecně můžeme shrnout, že se odolnost vůči agronomickému suchu mezi jednotlivými rostlinami různí. Jejich reakce na vodní stres je závislá na původu rostliny a míře jejího šlechtění pro podmínky dané lokality – klimatické, hydrologické, pedologické apod. Pokud je rostlina na daném území původní, bývá adaptována na střídání suchých a vlhkých období odpovídajících danému klimatickému pásu. (Burnash et Ferral, 1973). Některé rostliny mají vyšší toleranci na nedostatek vody, protože se na suché podmínky adaptovali. Hovoříme o tzv. xerofytech, čili suchomilných rostlinách (Edom, 2006).

Existují naštěstí možnosti zmírnění dopadu sucha na výnosy zemědělských plodin. Mezi ně patří vytváření zásob plodin, které zmírní jejich akutní nedostatek způsobený suchem. Především je však důležité zvážit vhodnost pěstovaných plodin pro danou oblast. Jistá míra sucha je přirozená pro většinu zemědělských ploch. Zohledněním potřeb jednotlivých rostlin obecně, ale také konkrétně v jednotlivých

fenologických fázích jejich vegetačního období, můžeme poměrně úspěšně redukovat dopady agronomického sucha. Dopady sucha na zemědělství dále můžeme eliminovat vhodným využitím závlahových systémů či vodních rezervoárů a přehrad, které udrží vodu z dob vláhového dostatku pro období s menším množstvím srážek.

2.5 HODNOCENÍ AGRONOMICKÉHO SUCHA, INDEXY SUCHA

Sucho hodnotíme na základě jeho klasifikace a dopadů. K jeho stanovení a hodnocení využíváme tzv. indikátory či indexy sucha. Pro hodnocení sucha a posouzení jeho závažnosti byla vypracována celá řada metod. Nedostatek vody můžeme posuzovat z různých hledisek.

Podle Blinky (2002) můžeme sucho hodnotit z prostorového a časového hlediska, lze také určit jeho intenzitu (sílu).

Plošný rozsah sucha je velmi různý. Sucha se mohou rozprostírat na pouhých několika stovkách kilometrů čtverečních, kdy se většinou jedná o méně silná a relativně krátká období. Tzv. kontinentální sucha se však může rozšířit i na obrovskou oblast pokrývající tisíce nebo dokonce miliony čtverečních kilometrů. Potenciálně může být zasažen i celý kontinent.

Z časového hlediska jsou zkoumány charakteristiky jako začátek, konec a délka trvání sucha. Na průběhu sucha se pak podílejí kromě času i další faktory, které významně ovlivňují intenzitu sucha, jsou jimi vysoká teplota a rychlost větru, nízká relativní vlhkost vzduchu apod.

Ke stanovení charakteristik, určení začátku, konce a délky trvání epizody sucha a její intenzity se používají tzv. indexy sucha. Jedná se o číselné vyjádření aktuálních klimatologických a hydrologických podmínek. Stanovení indexu sucha může být založeno na různých přístupech a vstupních informacích. Některé indexy jsou stanoveny na základě úhrnu srážek (meteorologické indexy sucha), jiné indexy jsou založené na pozorování odtoku, na sledování podzemní vody nebo můžeme stanovit tzv. komplexní indikátory. Dále můžeme vymezit indexy sucha založené na zásobách vody v půdě. Obecně lze říci, že indikátory definují vláhový stav (nedostatek i přebytek vody) na daném území. Nejjednodušší přístupy berou v úvahu pouze množství srážek, podrobnější přístupy pak pracují i s proměnlivým vlivem teploty na výpar nebo zohledňují evapotranspiraci (Litschmann a Rožnovský, 2001).

Pro úplnost doplňme, že evapotranspirací označujeme množství vody, které rostliny přenášejí při procesu transpirace a množství vody, která se za stejnou dobu vypaří z povrchu zeminy mezi rostlinami. (Havlíček et al., 1986).

Nyní již představíme několik vybraných indexů sucha. Pro přehlednost je můžeme rozdělit na **indexy založené na zásobě vody v půdě** – CMI, Z-index, P-E index a další a **meteorologické indexy** – PDSI a SPI.

2.5.1 PALMERŮV INDEX ZÁVAŽNOSTI SUCHA – PDSI

Jedním z nejrozšířenějších indexů sucha je Palmerův index intenzity sucha (PDSI – Palmer Drought Severity Index). PDSI je primárně meteorologickým indexem sucha, který byl formulován pro hodnocení dlouhodobých period abnormálně suchého počasí, ale také abnormálně vlhkého. Vstupními daty pro PDSI jsou srážky, teplota a průměrný obsah dostupné vody v půdě pro celou klimatickou oblast (Narasimhan, 2004).

Tento index patří do skupiny komplexních indikátorů sucha. Zahrnuje v sobě odhad vlhkosti půdy a její porovnání s dlouhodobou normální hodnotou vlhkosti pro dané časové období nebo s prahovou hodnotou, která je stanovena empiricky na základě analýzy delšího časového období. Počítá se obvykle pro měsíce a ve vegetačním období i pro jednotlivé týdny. Někdy mu bývá vytýkáno, že je sice zaměřen na zemědělství, ale už tak přesně nereaguje na hydrologické vlivy provázející delší sucho (Blinka, 2004).

PDSI umožňuje kvantifikovat a porovnávat sucho v různých oblastech s rozmanitými pedologickými a klimatickými poměry. Pro každé období se vypočítává očekávané množství srážek, které se porovnává s aktuálními srážkami. Vstupními daty pro výpočet Palmerova indexu závažnosti sucha jsou srážkové řady, hodnoty aktuální a potenciální evapotranspirace a využitelná vodní kapacita v půdním horizontu. Hlavní nevýhodou PDSI je podle Novického (2011) složitost výpočtu a náročnost na vstupní data.

Podle PDSI můžeme sucho klasifikovat následovně (tabulka 3):

Podnební oblast	Hodnota PDSI
Extrémně vlhká	4,00 a více
Velmi vlhká	3,00 až 3,99
Mírně vlhká	2,00 až 2,99
Slabě vlhká	1,00 až 1,99
Období začínajícího vlhka	0,50 až 0,99
Blízká normálu	0,49 až -0,49
Období začínajícího sucha	-0,50 až 0,99
Slabé sucho	-1,00 až -1,99
Mírné sucho	-2,00 až -2,99
Drsné sucho	-3,00 až -3,99
Extrémní sucho	-4,00 a méně

Tabulka 3 Klasifikace sucha podle PDSI

2.5.2 Z- INDEX – INDEX AGRONOMICKÉHO SUCHA

Z-index bývá také označován jako Palmer Moisture Anomaly Index. Jedná se o dílčí výpočet již představeného Palmerova indexu závažnosti sucha (PDSI). Výpočet vychází z poměru aktuálních hodnot srážek, evapotranspirace a zásoby vody v půdě vzhledem k dlouhodobým průměrným hodnotám těchto proměnných v daném období. Z-index je v porovnání s PDSI vhodnější pro posuzování kratších období. Pro delší časové období (50 a více let) se více hodí PDSI. Z-index je vhodný především pro výzkum výskytu agronomického sucha (Karl, 1986).

Sucho můžeme podle Z-indexu rozdělit do následujících charakteristik (tabulka 4):

Charakteristika měsíce	Hodnota indexu Z
Extrémně vlhký	>3,50
Silně vlhký	2,50 až 3,49
Mírně vlhký	1,00 až 2,49
Blízko normálu	-1,24 až -0,99
Mírně suchý	-1,99 až -1,25
Silně suchý	-2,74 až -2,00
Extrémně suchý	< -2,75

Tabulka 4 Orientační hodnoty Z-indexu pro posouzení závažnosti sucha

2.5.3 CROP MOISTURE INDEX (CMI)

Palmerův PDSI je užitečným indikátorem pro monitorování dlouhotrvajícího sucha zapříčiněného nedostatkem srážek. Zatímco zemědělská úroda je velmi náchylná na krátkodobé deficity v průběhu kritického období, kdy úroda roste. Při výpočtu se pracuje s průměrnou týdenní teplotou vzduchu a týdenním úhrnem srážek spolu s hodnotou CMI z předchozího týdne. Velmi rychle reaguje na změny půdní vlhkosti. Další proměnnou je prodleva mezi srážkovým deficitem a agronomickým suchem, která vzniká vyrovnáváním sucha z rezerv půdy. Proto vytvořil Palmer roku 1968 Index vlhkosti úrody (CMI – Crop Moisture Index) jako index pro krátkodobé agronomické sucho. Při výpočtu CMI se pracuje s hodnotou evapotranspirace (Blinka, 2004).

2.5.4 STANDARDIZOVANÝ SRÁŽKOVÝ INDEX – SPI

Standardizovaný srážkový index (SPI – Standardized Precipitation Index) je dalším obecně akceptovaným meteorologickým indexem sucha. SPI je primárně meteorologický index sucha založený na množství srážek v různých měsíčních periodách. Pro výpočet SPI je sledováno množství dešťových srážek, které jsou nejprve rozloženy do Gamma distribuce a následně transformovány do Gaussova rozdělení. Tato normální distribuce umožňuje využívat hodnoty SPI v časové škále (Narasimhan, 2004).

2.5.5 INDEX ZÁSoby POVRCHOVÉ VODY – SWSI

Index zásoby povrchové vody (SWSI – Surface Supply Index) byl primárně vyvinut jako hydrologický index sucha se záměrem nahradit PDSI v oblastech, kde lokální srážky nejsou jediným nebo primárním zdrojem vody. Primárním zdrojem vody jsou často řeky či nádrže, příkladem jsou městské a industriální zásoby vody, zavlažování, plavba nebo produkce elektřiny. Kalkulace SWSI je založena na měsíčních průměrných hodnotách zásob nádrží, proudu vodních toků, sněhového pokrytí a srážek (Narasimhan, 2004).

2.5.6 P-T INDEX

P-T index je poměrně jednoduchým indexem, nenáročným na vstupní data. Vypočítává se z poměru srážek (P) a teploty (T). Byl navržen z důvodu dobré dostupnosti vstupních dat pro celou oblast České republiky. Především nevyžaduje získávání hodnot evapotranspirace nebo výpočtu hydrologické bilance pro dané

povodí. P-T index je používán k výzkumu agronomického sucha na Fakultě životního prostředí.

Vzorec pro výpočet P-T indexu je následující:

$$P-T = \frac{P_i}{T_i}$$

2.5.7 P-E INDEX

P-E index se také používá na České zemědělské univerzitě v Praze. Při výpočtu pracuje s poměrem srážek (P) a aktuální evapotranspirací (ET). Tento index umožňuje posoudit, zda dochází k úbytku vláh v půdním profilu, jestli zásoba vody v půdě roste nebo klesá, jaká je využitelná zásoba vody v půdním profilu.

Výpočet se provádí podle vzorce:

$$P-E = \frac{P_i}{ET_i}$$

3. METODIKA

3.1 ŘEŠENÉ ÚZEMÍ

Tato práce je zaměřena na území okresu Náchod a povodí řeky Metuje. Okres Náchod se nachází na severovýchodě Česka, spadá do Královehradeckého kraje. Sousedí s okresy Rychnov nad Kněžnou, Hradec Králové a Trutnov, dále je vymezen státní hranicí s Polskem. Řeku Metuji můžeme hledat také na severovýchodě Čech. Metuje pramení v Broumovské vrchovině v nadmořské výšce 586 m n. m. Délka toku od pramene až po soutok s Labem činí 77,2 km. Po 45,7 říčních kilometrech je na řece umístěn hlásný profil Hronov. V práci jsou zpracována data ze srážkoměrné stanice Adršpach, data pro náchodský okres a také zbilancovaná data pro část povodí Metuje - od pramene po Hronov. V následujícím obrázku 5 jsou vidět obě lokality, také umístění srážkoměrné stanice a hlásného profilu Hronov.



Obrázek 5 Vyznačení zpracovávaných lokalit

Tyto dvě lokality byly vybrány i přes fakt, že se zcela nepřekrývají. Nicméně je velmi obtížné získat souvislá data pro shodná území. Například výnosy plodin nejsou vedeny pro části okresu, jedinou variantou by pak bylo získat údaje od místních zemědělců, kteří ovšem často nemají dlouhodobější kompletní data.

3.2 DATA

Pro určení vlivu sucha na zemědělské výnosy v povodí řeky Metuje byla využita hydrometeorologická data pro řeku Metuji – teploty, srážkové úhrny a průtoky Metuje a výnosy zemědělských plodin v okrese Náchod. Zpracovaná data jsou uvedena ve výsledcích práce.

3.2.1 HYDROMETEOROLOGICKÁ DATA

Pro povodí Metuje byla získána hydrometrická data ze srážkoměrné stanice Adršpach, Horní Adršpach (H1ADRS01), okres Náchod, 510,0 m. n. m. Z těchto dat byly zpracovány časové řady srážek a teplot za období z let 1961 – 2010. Dále byly využity záznamy o průtocích na řece Metuji v období 1970 – 2010. Data jsou dostupná v denním kroku v Českém hydrometeorologickém ústavu.

Další hydrometeorologická data využitá v této práci jsou data pro zbilancovanou část řeky Metuje. Jedná se o horní část Metuje - od pramene po Hronov, kde se nachází hlásný profil. Tyto údaje jsou z modelu Bilan, vytvořeném na Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka.

3.2.2 VÝNOSY ZEMĚDĚLSKÝCH PLODIN

Hodnoty výnosů zemědělských plodin byly po telefonickém a osobním kontaktu získány z Českého statistického úřadu v Praze. Poskytnutá data zahrnují období 1961 – 2001 pro okres Náchod, ve kterém se nachází řeka Metuje, pro kterou byly zpracovány úhrny srážek, teploty a průtoky. Od roku 2002 jsou v evidenci pouze data pro celé kraje, tím pádem není možnost získat hodnoty pro jednotlivé okresy. Okres Náchod spadá do kraje královéhradeckého.

Mluvíme zde o výnosech obilovin celkem, pšenice a brambor, v těchto případech jsou řady úplné z let 1961 – 2001. Dále pak výnosy žita a ječmene, kde data nejsou zcela kompletní.

Výnosy z okresu Náchod není možné sehnat od roku 2002 z důvodu zrušení okresů. Data byla pro roky 2002 – 2010 nahrazena výnosy daných plodin pro Královéhradecký kraj, ve kterém se již bývalý okres Náchod nachází. Tyto údaje lze opět získat od Českého statistického úřadu v Praze.

Český statistický úřad poskytl nejen hodnoty výnosů vybraných plodin v tunách na hektar, ale také data o sklizni v tunách a velikosti ploch, na kterých se plodiny pěstovali, tyto plochy byly vedeny v hektarech.

3.3 VÝPOČET INDEXŮ SUCHA

V této práci nejsou používány indexy sucha jako SPI, PDSI apod. Důvodem je velká náročnost na vstupní data. Pro naše účely úplně postačují jednodušší výpočty indexů sucha, jako je např. P-T index.

Jak je již výše zmíněno, P-T index byl vybrán pro svou jednoduchost. Vstupní data pro P-T index jsou snadno dostupná pro celou Českou republiku. Není nutné získávat hodnoty evapotranspirace, také není potřeba počítat hydrologické bilance pro povodí. P-T index se vypočítá podle vzorce:

$$P-T = \frac{P_i}{T_i}$$

kde P_i jsou hodnoty srážek a T_i hodnoty teplot.

P-T index byl vypočítán v programu Excel s daty ze srážkoměrné stanice Adršpach v měsíčním kroku a také se zbilancovanými daty ve čtyřtýdenním kroku pro horní část řeky Metuje (pramen – Hronov). Tím pádem máme porovnání bodových a plošných výsledků.

Následně byla provedena korelace jak pro P-T indexy z Adršpachu, tak pro výsledky P-T indexu pro horní část Metuje. Ke korelaci byly použity hodnoty P-T indexů agronomického sucha pro jednotlivé měsíce roku ze stanice Adršpach a výnosy hlavních zemědělských plodin z toho daného roku pro okres Náchod z let 1961 - 2010. Jedná se o výnosy obilovin celkem, pšenice, žito, brambor a řepky. Pro horní část řeky Metuje byla využita data P-T indexu ve čtyřtýdenním kroku, výnosy jsou zde využity shodné jako u Adršpachu.

Korelace byla počítána podle Pearsonova korelačního koeficientu, tedy podle vzorce:

$$R = \frac{\sum[(X_i - X_p) \cdot (Y_i - Y_p)]}{\sqrt{(X_i - X_p)^2 \cdot (Y_i - Y_p)^2}}$$

Program Excel nabízí možnost vzorce pro tento korelační koeficient, skrývá se pod názvem CORREL a pro tuto práci byl využit.

Výsledné korelační koeficienty byly zaneseny do tabulky, dále byly vytvořeny přehledné výstupy ve formě grafů.

Druhým použitým indexem je P-E index, který se počítá dle vzorce

$$PE = \frac{P_i}{ET_i}$$

kde P_i jsou hodnoty srážek a ET_i hodnoty evapotranspirace. Tato data byla poskytnuta již vypočítaná v rámci projektu „Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území České republiky“ zpracovávaného na Katedře vodního hospodářství a environmentálního modelování, nebylo tedy nutné provádět výpočet. Jedná se zde o hodnoty pro horní část Metuje, nikoli už pro Adršpach.

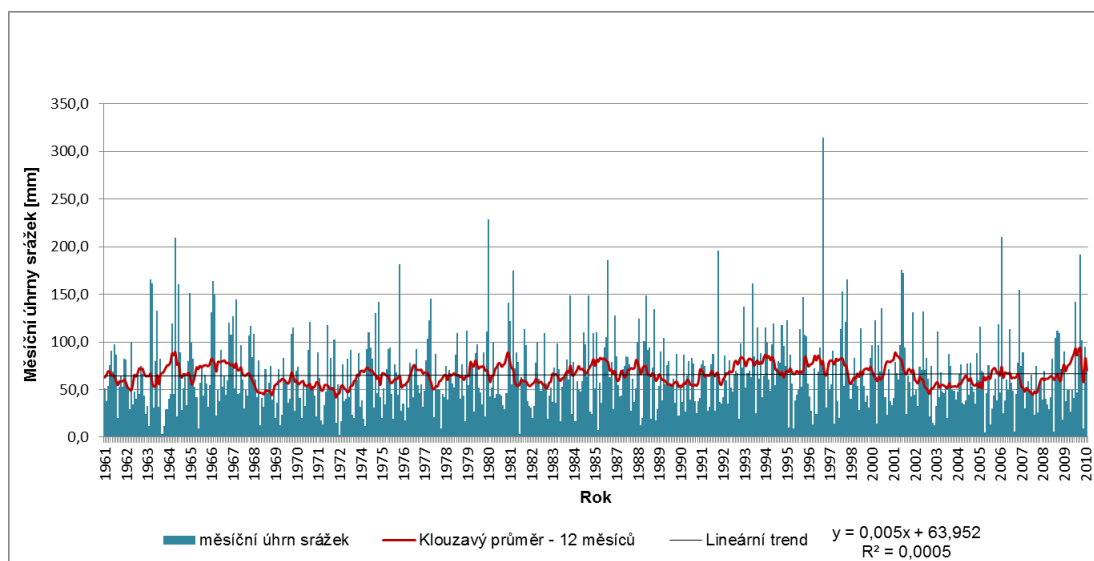
Dále byla provedena korelace P-E indexu s výnosy plodin. Byl k tomu využit stejný model jako u P-T indexu, tedy program Excel za pomoci funkce CORREL.

Korelační koeficienty P-T indexů, P-E indexů a výnosů vybraných plodin byly spočítány také pro kratší časové úseky z celkového období, a to pro dekády 1970 – 1980, 1990 – 2000 a 1996 – 2006.

4. VÝSLEDKY

Nyní se zaměříme na výsledky této práce. Začneme s výsledky deskriptivními, dále budeme pokračovat výsledky počítaných indexů a jejich korelací.

Měsíční úhrny srážek ze stanice Adršpach jsou přehledně zaznamenány na obrázku 6. Je zde také označen lineární trend, ze kterého je vidět, že srážky v průběhu let zůstávají průměrně stejné.



Obrázek 6 Měsíční úhrny srážek ve stanici Adršpach (1961 – 2010) s vyznačeným lineárním trendem a dvanáctiměsíčním klouzavým průměrem hodnot

V tabulce 5 je uvedeno porovnání statistických charakteristik před agregací dat (denní úhrny srážek) a po agregaci do ročního a měsíčního kroku. V tabulce 6 jsou pak průměrné měsíční úhrny srážek a směrodatné odchylky v jednotlivých měsících.

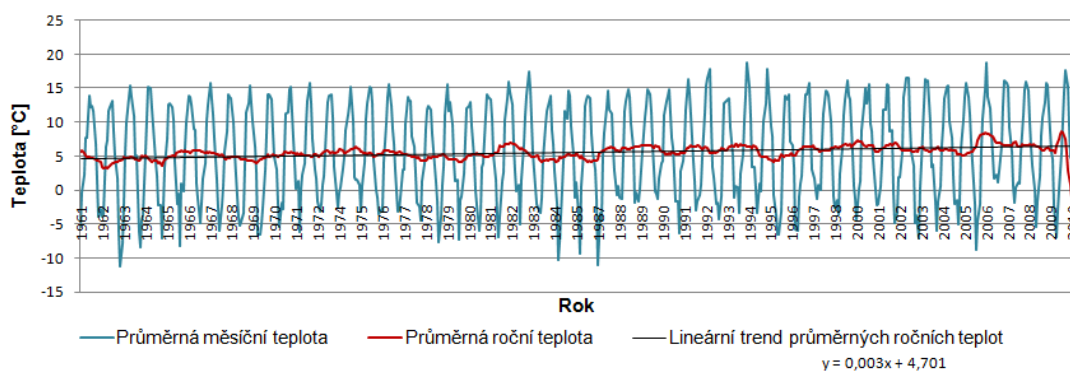
Úhrny srážek	minimum	medián	průměr	maximum	směr. odchylka
Denní [mm]	0,0	0,1	2,2	67,9	4,7
Měsíční [mm]	2,1	57,3	65,5	314,8	38,2
Roční [mm]	558,0	772,8	785,5	977,8	114,9

Tabulka 5 Statistické charakteristiky pro denní, měsíční a roční srážkové úhrny ve stanici Adršpach (1961 – 2010)

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Průměrné srážky [mm]	57,2	48,9	54,5	44,5	75,6	81,9	96,0	85,8	60,9	53,7	64,0	62,6
Směrodatná odchylka [mm]	33,8	26,2	31,5	20,5	36,0	31,5	53,3	47,3	35,5	39,0	19,9	35,0

Tabulka 6 Průměrné úhrny srážek a jejich směrodatné odchylky pro jednotlivé měsíce ve stanici Adršpach (1961 – 2010)

Průměrné měsíční a roční teploty ve stanici Adršpach pro období 1961 – 2010 jsou pro porovnání zobrazeny společně v obrázku 7. Z lineárního trendu průměrných ročních teplot, který je v obrázku naznačený, lze vyčíst nárůst teploty. Za padesát let průměrná teplota stoupla přibližně o 2°C.



Obrázek 7 Průměrné měsíční a roční teploty pro stanici Adršpach (1961 – 2010) a vyznačení lineárního trendu pro průměrné roční teploty

Porovnání statistických charakteristik teplot je uvedeno v tabulce 7. Jsou zde zaneseny hodnoty pro denní, měsíční a roční teploty. Průměrné měsíční teploty ze stanice Adršpach z období 1961 – 2010 jsou i se směrodatnými odchylkami zaznamenány v tabulce 8.

Teploty	minimum	medián	průměr	maximum	směr. odchylka
Denní [°C]	-26,0	5,8	5,6	24,4	7,7
Měsíční [°C]	-11,2	5,4	5,6	18,8	6,9
Roční [°C]	-6,5	5,6	5,6	8,7	1,1

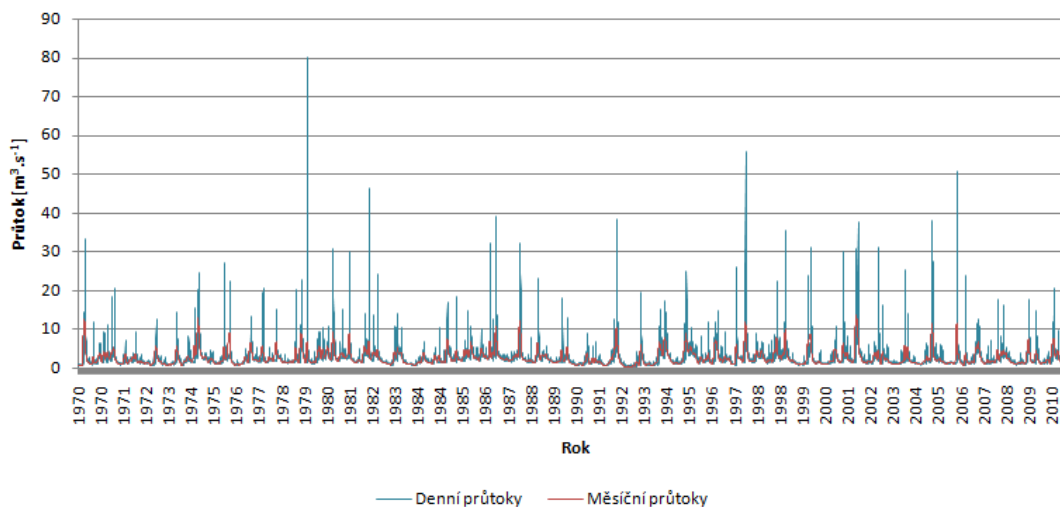
Tabulka 7 Statistické charakteristiky průměrných denních, měsíčních a ročních teplot pro stanici Adršpach (1961 – 2010)

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Průměrná teplota [°C]	-4,1	-2,7	0,3	5,1	10,4	13,5	14,9	14,1	10,0	5,6	1,7	-1,9
Směr. odchylka [°C]	3,2	2,8	2,2	1,5	1,5	1,3	1,7	1,3	1,4	1,6	1,8	2,1

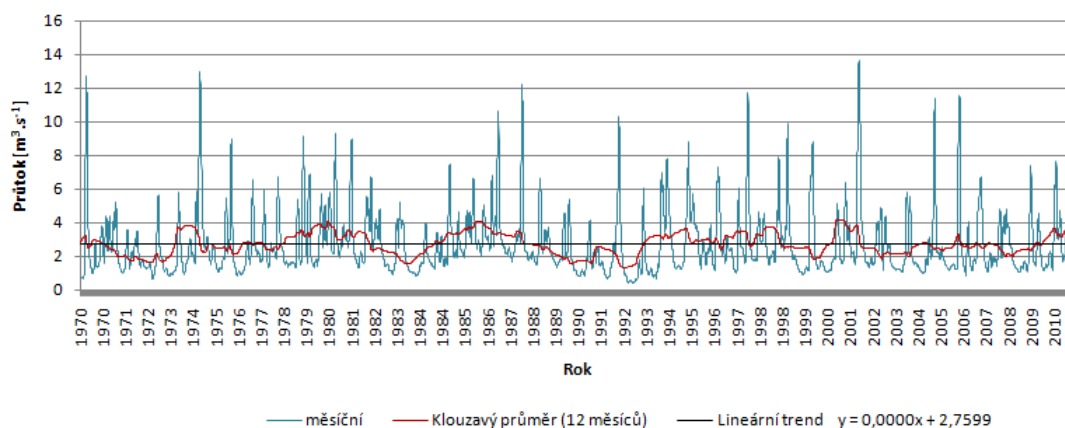
Tabulka 8 Průměrné měsíční teploty a jejich směrodatné odchylky pro období 1961 - 2010 ve stanici Adršpach

Průtoky z povodí řeky Metuje jsou znázorněny v obrázku 8. Konkrétněji se jedná o průtoky denní a měsíční z let 1970 - 2010. V obrázku 9 je zaznamenán průběh průměrných měsíčních průtoků společně s lineárním trendem, který je, jak je vidět v obrázku, konstantní.

Dále jsou do tabulky 9 zavedeny pro porovnání statistické charakteristiky denních, měsíčních a ročních průměrných průtoků na řece Metuje z let 1970 – 2010. V následující tabulce 10 se nachází přehled měsíčních průtoků a jejich odchylek za celé období.



Obrázek 8 Průměrné denní a měsíční průtoky Metuje v období 1970 – 2010



Obrázek 9 Průměrné měsíční průtoky na řece Metuji (1970 - 2010) s vyznačením lineárního trendu a zakreslením dvanáctiměsíčního klouzavého průměru průtoků

Průtoky	minimum	medián	průměr	maximum	směr. odchylka
Denní [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	0,30	1,93	2,76	80,10	2,92
Měsíční [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	0,44	2,17	2,76	13,69	1,90
Roční [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	1,66	2,77	2,76	3,80	0,61

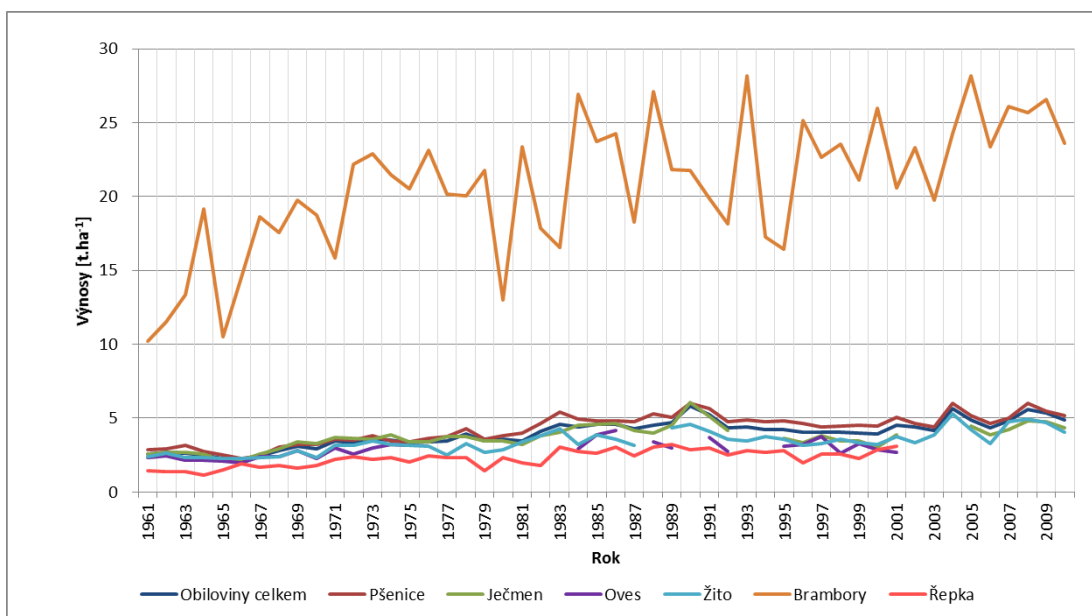
Tabulka 9 Statistické charakteristiky průměrných denních, měsíčních a ročních průtoků na řece Metuji za období 1970 – 2010

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prům. průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	1,80	3,27	5,09	4,11	2,54	2,05	2,32	2,02	1,84	1,81	2,10	2,90
Směr. odchylka [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	2,13	2,25	2,13	2,14	0,98	0,99	1,93	1,15	0,93	1,09	1,10	1,99

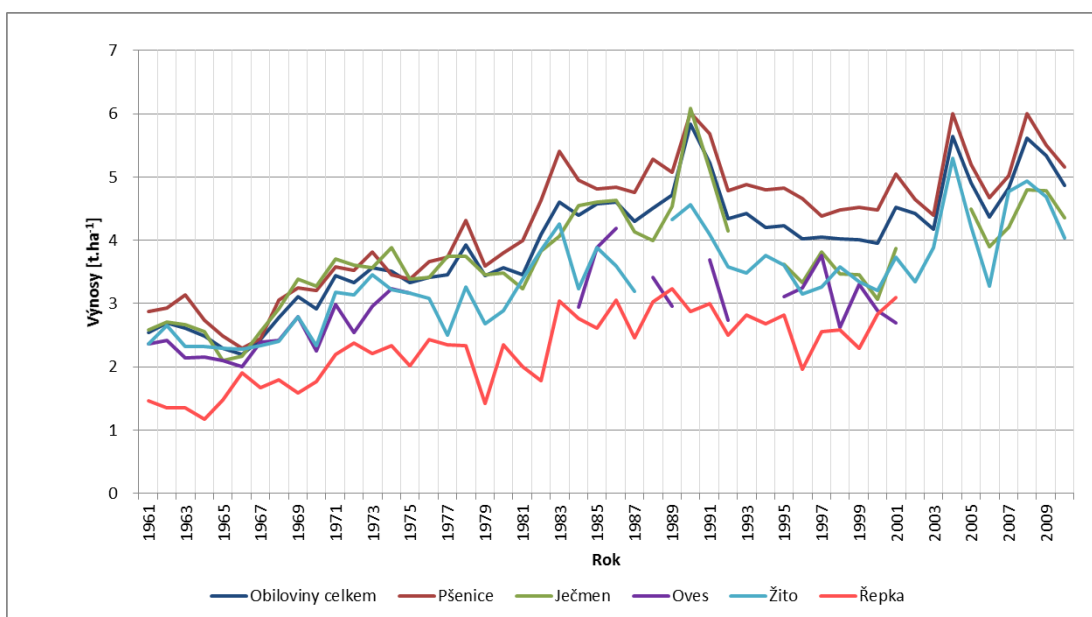
Tabulka 10 Průměrné měsíční průtoky a jejich směrodatné odchylky v období 1970 - 2010 na řece Metuji

V obrázku 10 jsou zobrazeny celkové výnosy pro okres Náchod. Jedná se o výnosy obilovin celkem, výnosy pšenice, ječmene, ova, žita, brambor a řepky. Jak je vidět v obrázku, nejvyšší hodnoty výnosů v okrese vykazují brambory. Pro lepší přehlednost vývoje ostatních plodin je přiložen obrázek 11, který zachycuje pouze obiloviny celkem, pšenici, ječmen, oves, žito a řepku v témže období. Z grafů lze také vyčíst, že výnosy zemědělských plodin v okrese Náchod v průběhu let mírně stoupají. Tyto obrázky zahrnují období 1961 – 2010, přičemž v letech 2002 – 2010 jsou zde využity výnosy plodin z celého královehradeckého okresu. V obrázcích je vidět také pokles výnosů po roce 1989, což je dáno tehdejší změnou politického systému.

Následuje tabulka 11 se statistickým přehledem výnosů zemědělských plodin – obiloviny, pšenice, ječmen, oves, žito, brambory a řepka v okrese Náchod v období 1961 – 2001.



Obrázek 10 Výnosy obilovin, pšenice, ječmene, ova, žita, brambor a řepky za období 1961 - 2010 v okrese Náchod



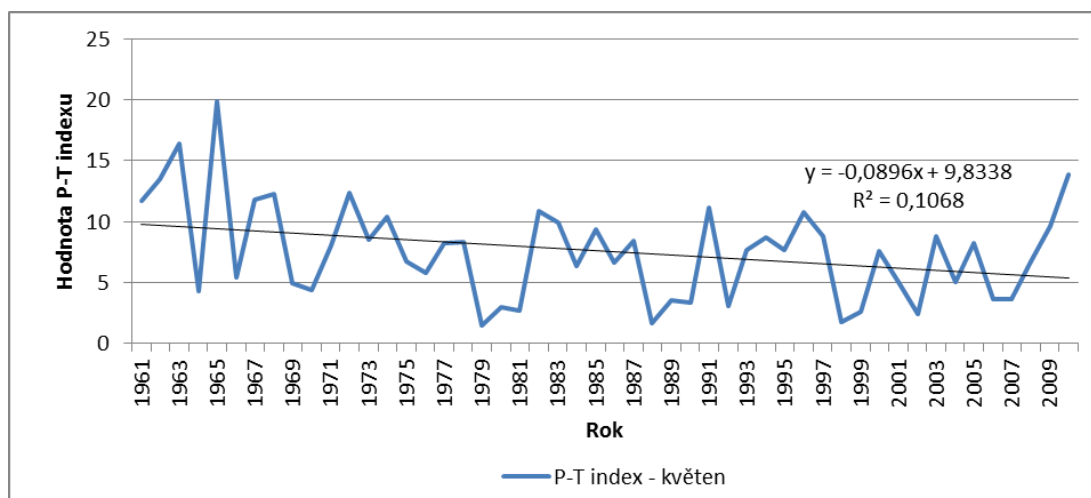
Obrázek 11 Výnosy obilovin, pšenice, ječmene, ova, žita a řepky za období 1961 - 2010 v okrese Náchod

Plodina	obiloviny	pšenice	ječmen	oves	žito	brambory	řepka
Minimum [t.ha ⁻¹]	2,203	2,294	2,098	2,001	2,276	10,219	1,173
Medián [t.ha ⁻¹]	3,920	4,310	3,560	2,886	3,214	20,163	2,350
Průměr [t.ha ⁻¹]	3,734	4,086	3,602	2,896	3,193	19,897	2,283
Maximum [t.ha ⁻¹]	5,830	6,008	6,089	4,189	4,559	28,161	3,230
Směr. odchylka [t.ha ⁻¹]	0,835	0,945	0,795	0,576	0,614	4,410	0,566

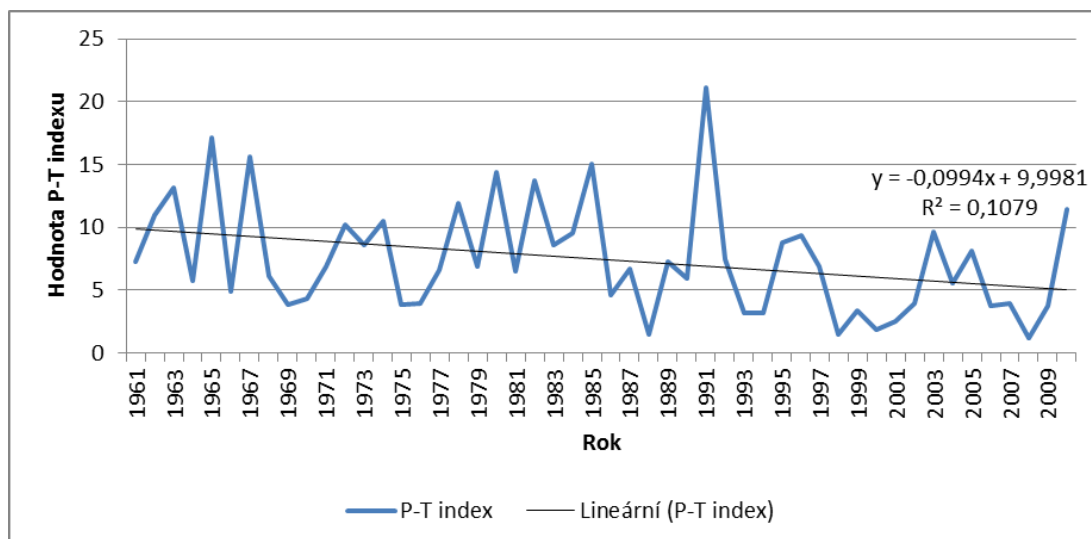
Tabulka 11 Statistický přehled výnosů zemědělských plodin za období 1961 - 2001 v okrese Náchod

4.1 VÝSLEDKY INDEXŮ

V příloze 1 jsou zaznamenány výsledné hodnoty P-T indexu pro jednotlivé měsíce v letech 1961 – 2010. Pro názornost následuje grafické vyjádření výsledku P-T indexů pro měsíc květen v Adršpachu v obrázku 12. V obrázku 13 jsou pak hodnoty P-T indexu z horní části Metuje ve třetím čtyřtýdnu, což se nejvíce přibližuje květnu.



Obrázek 12 Výsledky P-T indexu za měsíc květen v povodí řeky Metuje - Adršpach



Obrázek 13 Výsledky P-T indexu za třetí čtyřliden v povodí řeky Metuje – horní část Metuje

Jsou vidět rozdíly v těchto obrázcích. Je to dáno tím, že obrázek 9 je výsledkem bodových hodnot, získaných ze srážkoměrné stanice Adršpach, zatímco obrázek 10 zachycuje hodnoty plošné, a to zbilancovanou horní část řeky Metuje – od pramene po Hronov. V obrázcích jsou vyznačeny lineární trendy.

Hodnoty korelačních koeficientů pro Adršpach jsou zaneseny do tabulky 12. Kladné hodnoty vykazuje hlavně měsíc březen, zatímco negativní hodnoty převažují v květnu a červnu. Jak je ale vidět, žádná z hodnot není dostatečně kladná ani záporná, aby se o ní dalo mluvit jako o velmi významné.

měsíc	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	0,085	0,153	-0,001	-0,115	-0,011
2	0,121	0,127	-0,131	0,080	-0,012
3	0,226	0,211	-0,022	0,257	0,197
4	-0,010	-0,035	0,014	-0,250	0,043
5	-0,361	-0,340	-0,016	-0,458	-0,334
6	-0,102	-0,140	-0,052	-0,196	-0,049
7	-0,059	-0,056	-0,462	0,173	-0,171
8	-0,154	-0,147	-0,111	0,060	-0,116
9	0,193	0,234	-0,233	0,227	0,133
10	-0,102	-0,144	-0,010	0,117	-0,049
11	-0,210	-0,249	0,223	-0,188	-0,103
12	0,034	0,013	-0,425	0,113	-0,016

Tabulka 12 Korelační koeficienty P-T indexu a výnosů plodin 1961-2010, Adršpach

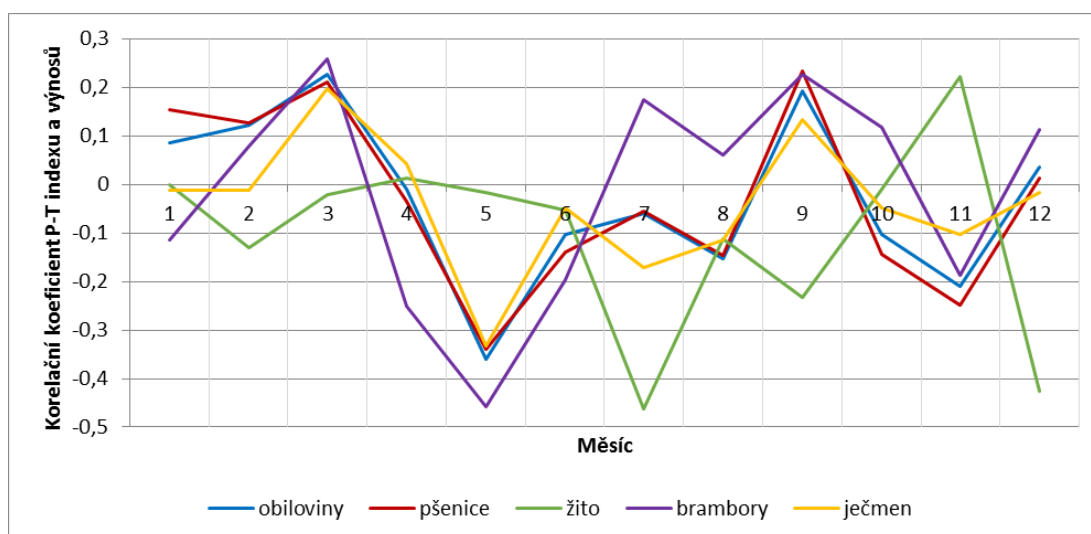
Obdobná tabulka se nachází níže – tabulka 13, kde jsou korelační koeficienty pro horní část řeky Metuje. Podobně jako u Adršpachu nejsou hodnoty

výrazné. Výsledky jsou vyvedeny pro jednotlivé čtyřtýdny, kde první čtyřtýden začíná v březnu.

čtyřtýden	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	-0,086	-0,112	-0,012	0,029	-0,078
2	-0,055	-0,093	0,284	-0,178	0,031
3	-0,185	-0,193	0,168	-0,416	-0,054
4	-0,363	-0,365	-0,239	-0,327	-0,331
5	-0,054	-0,075	-0,231	-0,041	-0,070
6	-0,144	-0,133	-0,322	0,133	-0,127
7	-0,178	-0,148	-0,274	0,005	-0,176
8	-0,004	0,031	-0,268	0,089	0,040
9	-0,122	-0,161	-0,013	0,084	-0,067
10	-0,124	-0,172	0,040	0,030	-0,083
11	-0,056	-0,099	-0,178	0,197	-0,075

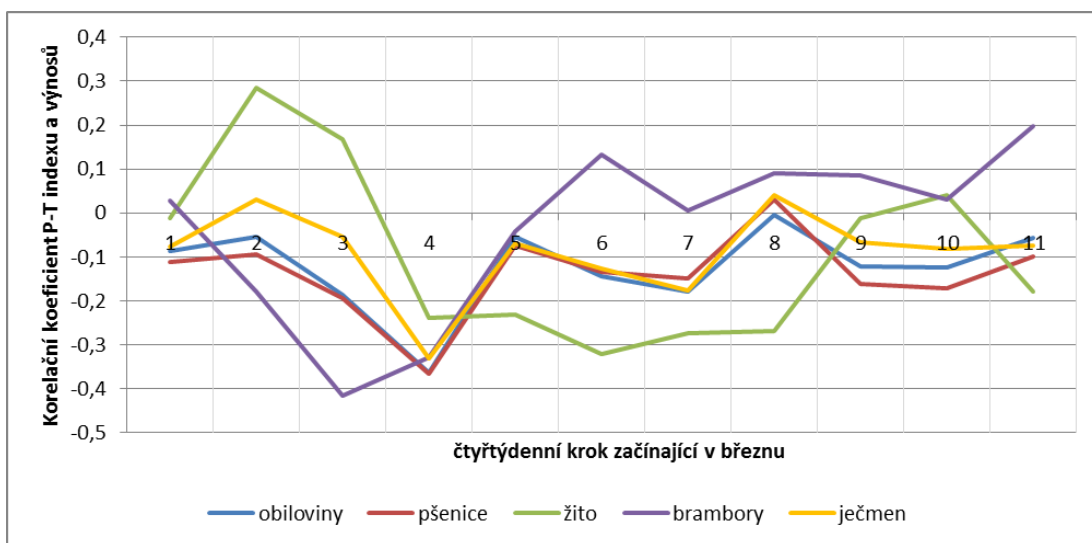
Tabulka 13 Korelační koeficienty P-T indexu a výnosů plodin 1961-2010, horní část Metuje

Pro přehlednost byl vytvořen graf s hodnotami korelačních koeficientů P-T indexu a výnosů zemědělských plodin pro jednotlivé měsíce roku pro období 1961 - 2010 k lokalitě Adršpach. Nachází se v obrázku 14 a jsou zde zobrazeny hodnoty obilovin celkem, pšenice, brambor a ječmene. Jak je z obrázku patrné, žádné výrazné kladné korelace se neobjevují. Poměrně nízký korelační koeficient se ukazuje v červenci u žita. Z červencové hodnoty žita vyplývá, že v tomto měsíci opravdu klesly výnosy žita, ovšem ne vinou sucha, ale spíše převlhčením.



Obrázek 14 Korelace hodnot P-T indexu v jednotlivých měsících roku a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1961-2010 pro Adršpach

V obrázku 15 jsou znázorněny hodnoty korelačních koeficientů P-T indexu a výnosů zemědělských plodin, přičemž výnosy plodin jsou shodné jako v předešlém, ale hodnoty P-T indexů se vztahují ke zbilancované části povodí Metuje. Jedná se o období 1961 - 2010 zpracované ve čtyřtýdenním kroku, přičemž první čtyřtýden začíná v březnu. Opět se neprojevily žádné vysoké kladné hodnoty. Nejnižších hodnot v našich výsledcích v tomto období nabývají brambory ve třetím čtyřtýdnu.



Obrázek 15 Korelace hodnot P-T indexu ve čtyřtýdenním kroku a výnosy obilovin celkem, pšenice, žito, brambor a ječmene v období 1961-2010 pro horní část Metuje

Následují tabulky 14 a 15, kam jsou zaneseny hodnoty korelačních koeficientů P-T indexů a výnosů vybraných plodin v dekádě 1970 – 1980. Tabulka 12 zobrazuje hodnoty z Adršpachu a hodnoty z horní části Metuje jsou v tabulce 13.

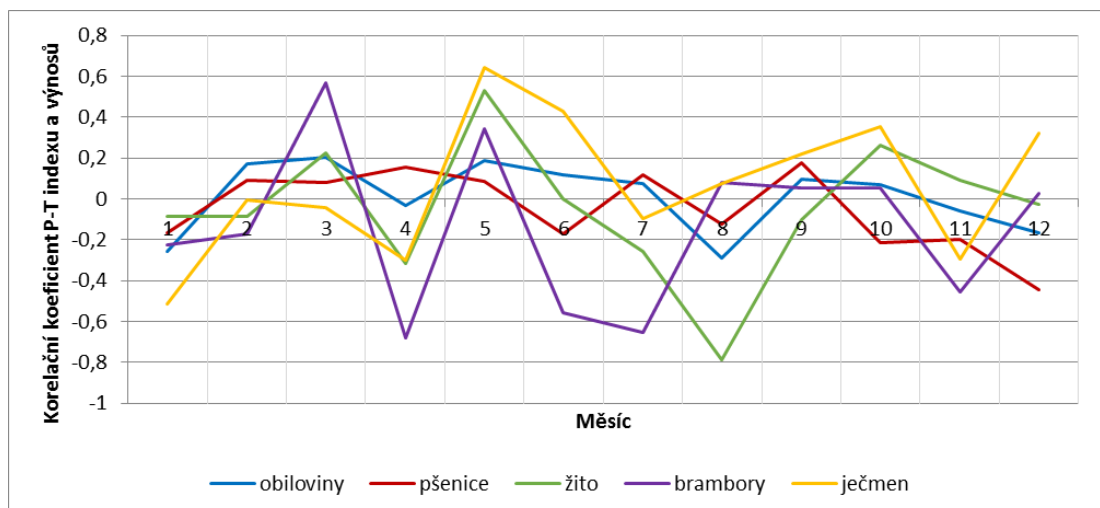
Grafy k těmto tabulkám jsou níže. V obrázku 16 je tedy zobrazen vývoj korelačních koeficientů pro Adršpach v dekádě 1970 – 1980 v měsíčním kroku. Korelační koeficienty pro horní část Metuje ve shodné dekádě, ovšem v čtyřtýdenním kroku, přičemž první čtyřtýden je v březnu, jsou pak zobrazeny v obrázku 17.

měsíc	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	-0,257	-0,167	-0,088	-0,224	-0,511
2	0,173	0,089	-0,085	-0,171	-0,003
3	0,203	0,078	0,223	0,566	-0,042
4	-0,030	0,155	-0,316	-0,680	-0,301
5	0,186	0,085	0,530	0,342	0,642
6	0,119	-0,169	0,001	-0,554	0,427
7	0,077	0,120	-0,257	-0,651	-0,098
8	-0,289	-0,121	-0,786	0,081	0,073
9	0,096	0,179	-0,104	0,053	0,217
10	0,069	-0,216	0,263	0,054	0,356
11	-0,056	-0,195	0,094	-0,455	-0,296
12	-0,163	-0,444	-0,026	0,029	0,320

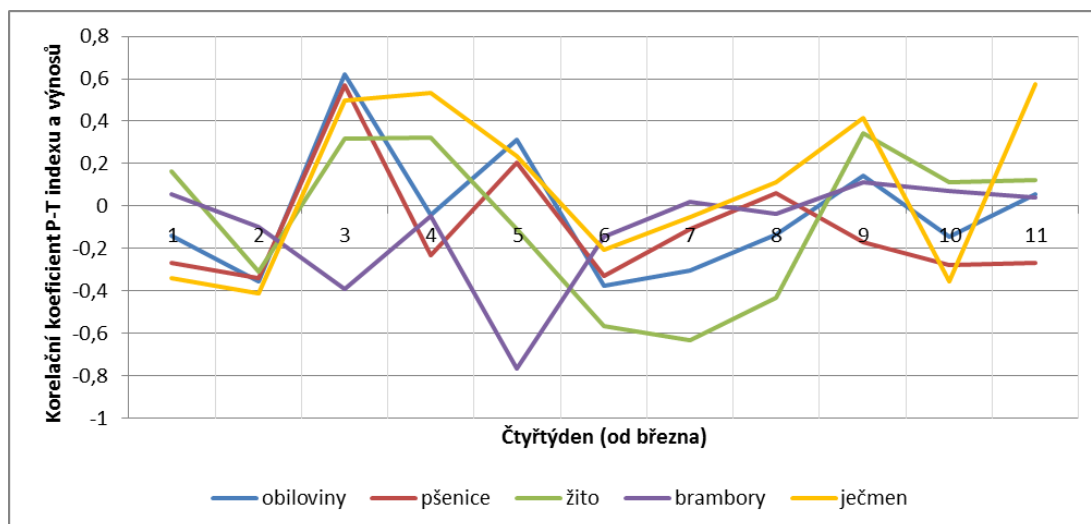
Tabulka 14 Korelační koeficienty P-T indexu a výnosů plodin 1970-1980, Adršpach

čtyřtýden	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	-0,141	-0,269	0,163	0,057	-0,342
2	-0,355	-0,342	-0,312	-0,098	-0,412
3	0,623	0,572	0,316	-0,393	0,499
4	-0,044	-0,230	0,320	-0,047	0,533
5	0,312	0,205	-0,108	-0,767	0,234
6	-0,376	-0,328	-0,565	-0,143	-0,207
7	-0,305	-0,111	-0,636	0,018	-0,054
8	-0,135	0,059	-0,433	-0,038	0,113
9	0,141	-0,169	0,345	0,112	0,418
10	-0,147	-0,280	0,112	0,070	-0,356
11	0,053	-0,268	0,122	0,041	0,574

Tabulka 15 Korelační koeficienty P-T indexu a výnosů plodin 1970-1980, horní část Metuje



Obrázek 16 Korelace hodnot P-T indexu a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1970 – 1980, Adršpach



Obrázek 17 Korelace hodnot P-T indexu a výnosů obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1970 – 1980, horní část Metuje

Jak je z výše uvedených hodnot a grafů vidět, nejvýrazněji se projevila negativní korelace v Adršpachu pro žito v měsíci srpnu a v pátém čtyřtýdnu pro brambory v horní části Metuje. Z kladných korelací stojí za zmínku hodnoty ječmene v květnu, či brambor v březnu pro Adršpach a hodnoty obilovin a pšenice ve třetím čtyřtýdnu pro horní část Metuje.

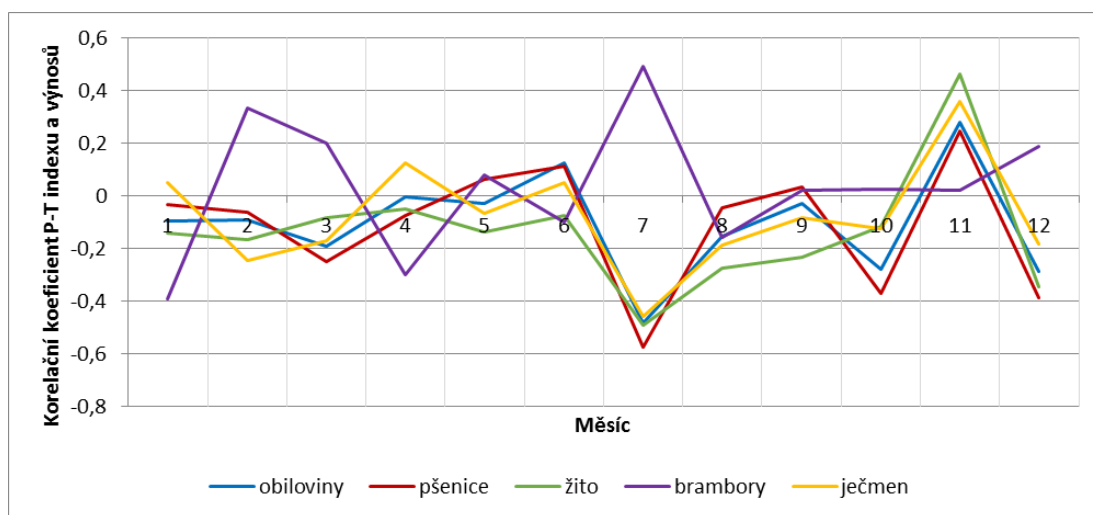
Další dekádu, pro kterou byly zpracovány tabulky s hodnotami korelačních koeficientů a grafy, je 1990 – 2000. Hodnoty pro Adršpach jsou v tabulce 16 a na obrázku 18, pro horní část Metuje pak v tabulce 17 a v obrázku 19. Zde vyšla nejvyšší hodnota korelačního koeficientu v červenci pro brambory v Adršpachu. Záporná pak v tomtéž měsíci pro ostatní plodiny.

měsíc	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	-0,096	-0,036	-0,141	-0,394	0,049
2	-0,092	-0,064	-0,169	0,333	-0,247
3	-0,195	-0,252	-0,086	0,197	-0,172
4	-0,005	-0,075	-0,050	-0,301	0,124
5	-0,029	0,062	-0,140	0,076	-0,068
6	0,126	0,113	-0,077	-0,103	0,051
7	-0,485	-0,575	-0,492	0,492	-0,459
8	-0,156	-0,046	-0,278	-0,159	-0,191
9	-0,032	0,032	-0,235	0,021	-0,086
10	-0,279	-0,372	-0,117	0,024	-0,124
11	0,279	0,245	0,459	0,020	0,355
12	-0,289	-0,387	-0,346	0,184	-0,183

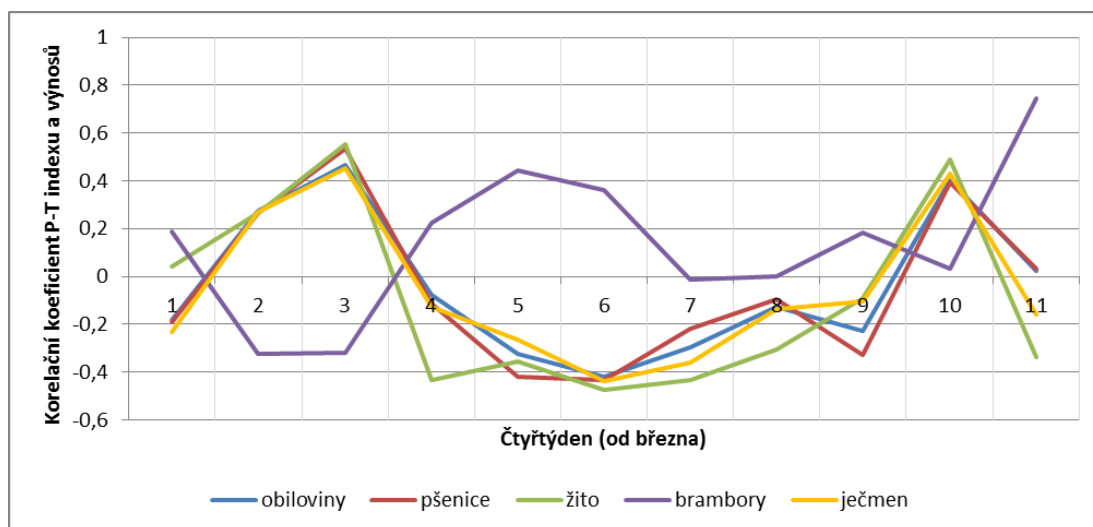
Tabulka 16 Korelační koeficienty P-T indexu a výnosů plodin 1990-2000, Adršpach

čtyřtýden	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	-0,182	-0,191	0,043	0,187	-0,233
2	0,273	0,266	0,266	-0,322	0,271
3	0,467	0,535	0,555	-0,320	0,454
4	-0,077	-0,114	-0,432	0,223	-0,130
5	-0,322	-0,418	-0,358	0,443	-0,264
6	-0,421	-0,435	-0,476	0,360	-0,437
7	-0,297	-0,218	-0,436	-0,015	-0,360
8	-0,127	-0,095	-0,305	0,000	-0,138
9	-0,229	-0,330	-0,093	0,181	-0,105
10	0,401	0,392	0,490	0,033	0,430
11	0,024	0,031	-0,338	0,744	-0,158

Tabulka 17 Korelační koeficienty P-T indexu a výnosů plodin 1990-2000, horní část Metuje



Obrázek 18 Korelace hodnot P-T indexu a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1990 – 2000, Adršpach



Obrázek 19 Korelace hodnot P-T indexu a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1990 – 2000, horní část Metuje

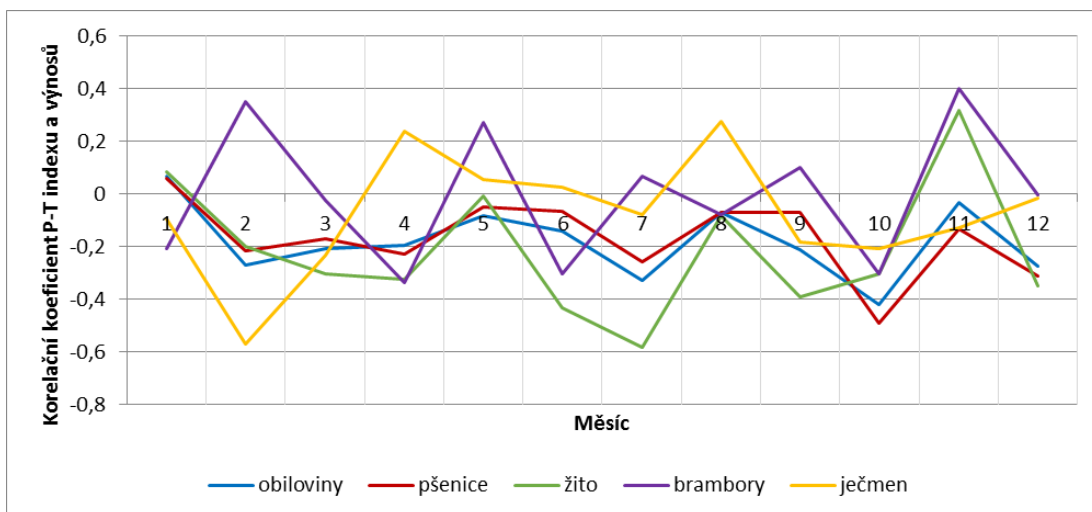
Pro zajímavost byla zpracována také dekáda 1996 – 2006 pro obě lokality. Zde byly výnosy doplněny daty z celého okresu. Výsledky pro tuto dekádu jsou zaznamenány v tabulkách 18 a 19 a v obrázcích 20 a 21. Jak se dalo předpokládat podle celkových výsledků i předešlých dekád, ani v této se nejsou výsledky výrazně kladné či záporné. Nejzřejměji se projeví výsledky žita v měsíci červenci.

měsíc	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	0,067	0,059	0,083	-0,207	-0,096
2	-0,269	-0,214	-0,199	0,350	-0,568
3	-0,208	-0,169	-0,302	-0,026	-0,231
4	-0,193	-0,227	-0,323	-0,336	0,240
5	-0,083	-0,051	-0,006	0,271	0,055
6	-0,141	-0,064	-0,431	-0,303	0,027
7	-0,326	-0,258	-0,584	0,067	-0,077
8	-0,070	-0,069	-0,084	-0,080	0,276
9	-0,210	-0,070	-0,392	0,102	-0,183
10	-0,418	-0,491	-0,302	-0,303	-0,206
11	-0,035	-0,134	0,317	0,400	-0,126
12	-0,276	-0,311	-0,348	-0,003	-0,017

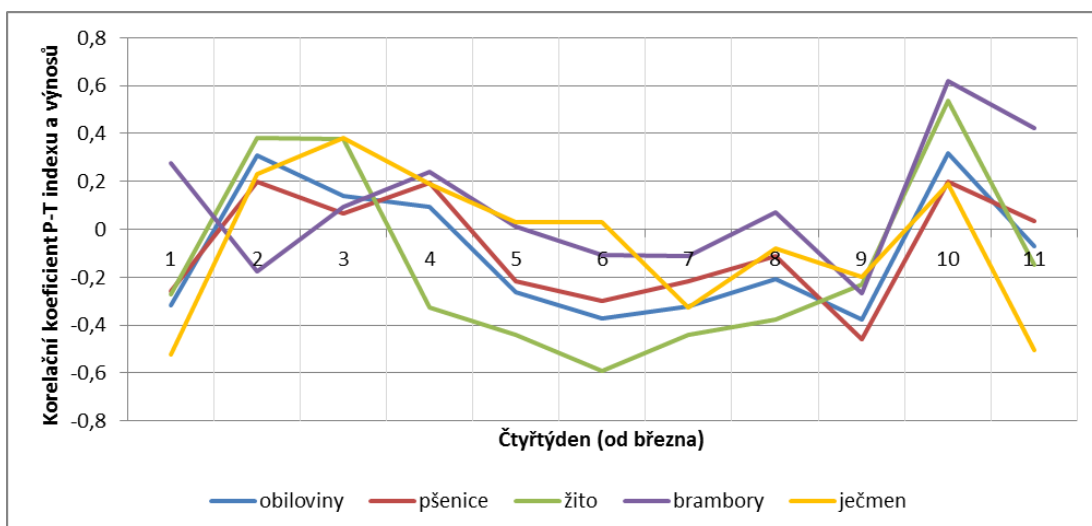
Tabulka 18 Korelační koeficienty P-T indexu a výnosů plodin 1996-2006, Adršpach

čtyřtýden	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	-0,318	-0,258	-0,272	0,276	-0,521
2	0,308	0,200	0,380	-0,176	0,231
3	0,138	0,069	0,378	0,092	0,380
4	0,096	0,197	-0,328	0,239	0,191
5	-0,261	-0,217	-0,442	0,010	0,029
6	-0,372	-0,298	-0,592	-0,106	0,028
7	-0,323	-0,216	-0,440	-0,110	-0,327
8	-0,208	-0,110	-0,377	0,071	-0,082
9	-0,374	-0,457	-0,232	-0,268	-0,198
10	0,317	0,199	0,539	0,619	0,192
11	-0,072	0,033	-0,150	0,423	-0,506

Tabulka 19 Korelační koeficienty P-T indexu a výnosů plodin 1996-2006, horní část Metuje



Obrázek 20 Korelace hodnot P-T indexu a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1996 – 2006, Adršpach

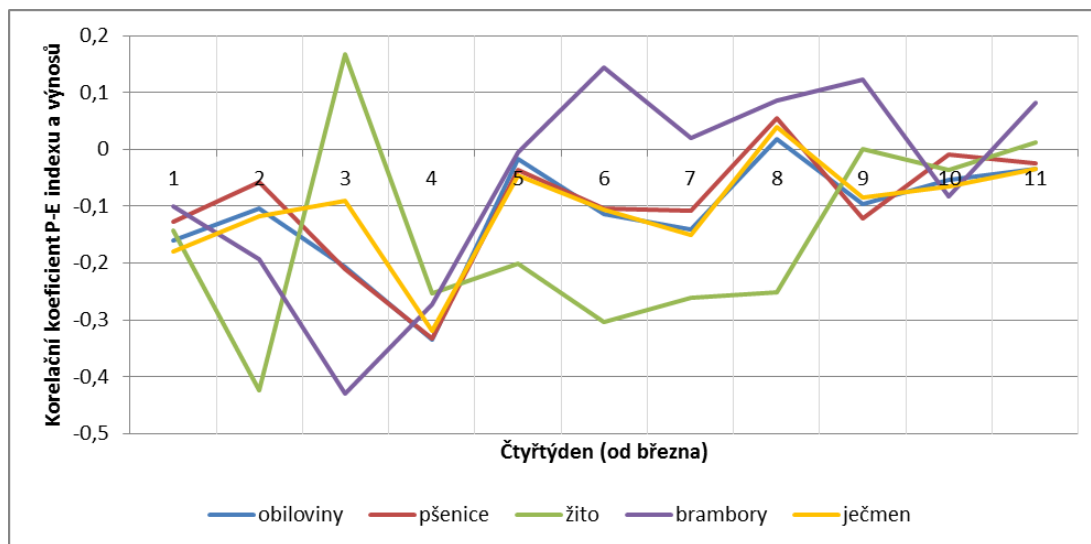


Obrázek 21 Korelace hodnot P-T indexu a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1996 – 2006, horní část Metuje

Nyní se podíváme na výsledky P-E indexu, který byl zpracovaný pro zbilancovanou horní část Metuje. V tabulce 20 jsou zobrazeny hodnoty korelačních koeficientů P-E indexů a výnosů vybraných plodin za období 1961- 2010 pro horní část Metuje. Tyto hodnoty byly vyneseny do grafu, který je v obrázku 22. Jak můžeme vidět, hodnoty P-E indexu jsou obdobné jako P-T indexu.

čtyřtýden	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	-0,160	-0,128	-0,142	-0,101	-0,179
2	-0,104	-0,057	-0,423	-0,194	-0,117
3	-0,206	-0,212	0,167	-0,429	-0,091
4	-0,335	-0,332	-0,253	-0,272	-0,319
5	-0,017	-0,037	-0,200	-0,004	-0,045
6	-0,114	-0,104	-0,305	0,144	-0,106
7	-0,141	-0,109	-0,262	0,020	-0,151
8	0,017	0,055	-0,251	0,087	0,038
9	-0,097	-0,121	0,000	0,123	-0,085
10	-0,054	-0,009	-0,037	-0,083	-0,065
11	-0,034	-0,025	0,012	0,082	-0,034

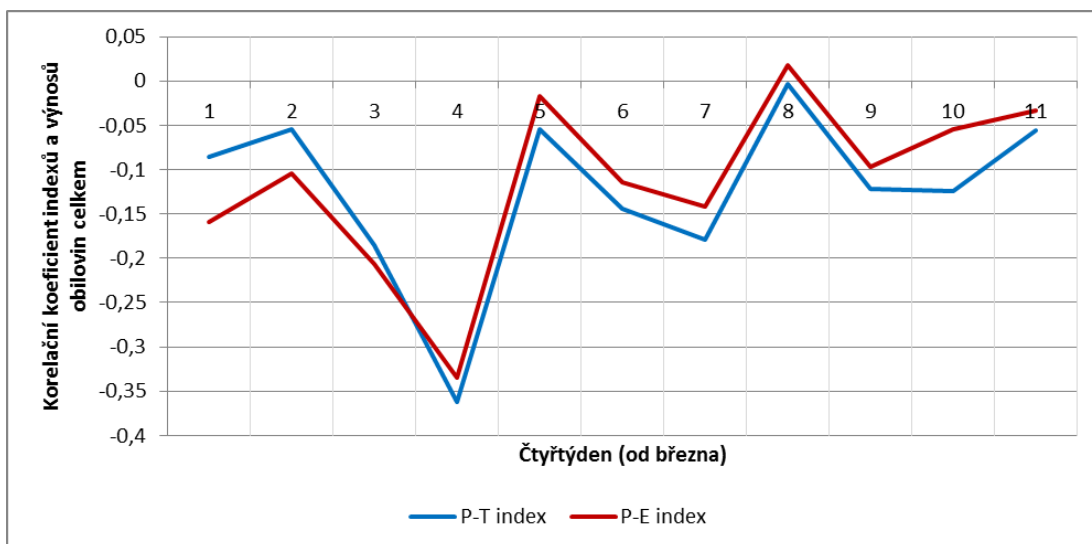
Tabulka 20 Korelační koeficienty P-E indexu a výnosů plodin 1961-2010, horní část Metuje



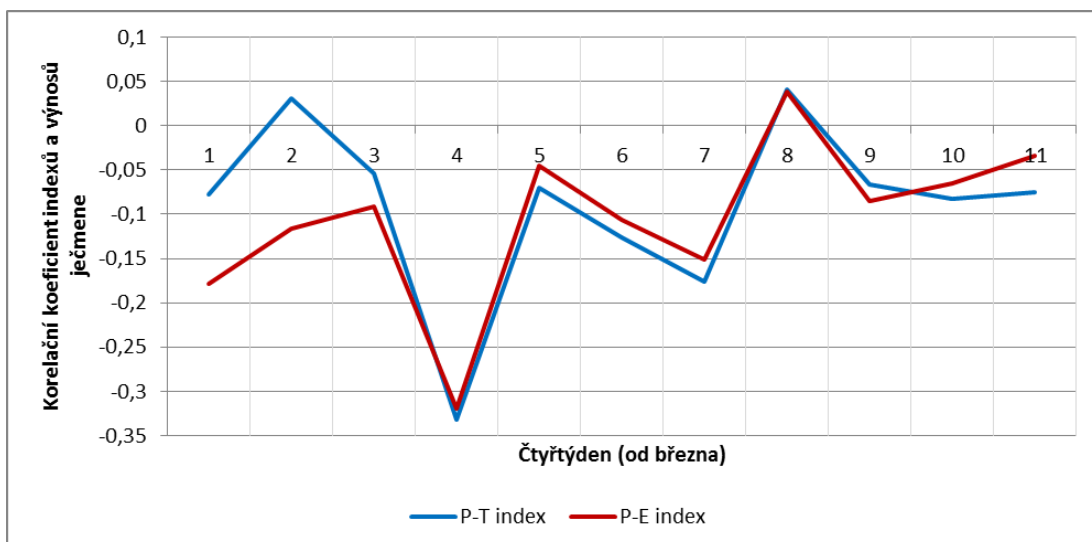
Obrázek 22 Korelace hodnot P-E indexu a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1961 – 2010, horní část Metuje

Pro P-E index byly zpracovány také korelační koeficienty dekád 1970 – 1980, 1990 – 2000 a 1996 – 2006. Tabulky a obrázky k těmto dekádám jsou uvedeny v přílohách 2 -7. Nejvýrazněji se projevily hodnoty korelačního koeficientu brambor v pátém čtyřtýdnu dekády 1970 – 1980. Ve stejné dekádě se dále projevuje v sedmém čtyřtýdnu žito. V obou případech se jedná o zápornou korelaci, projevuje se zde tedy spíše převlhčení, než sucho.

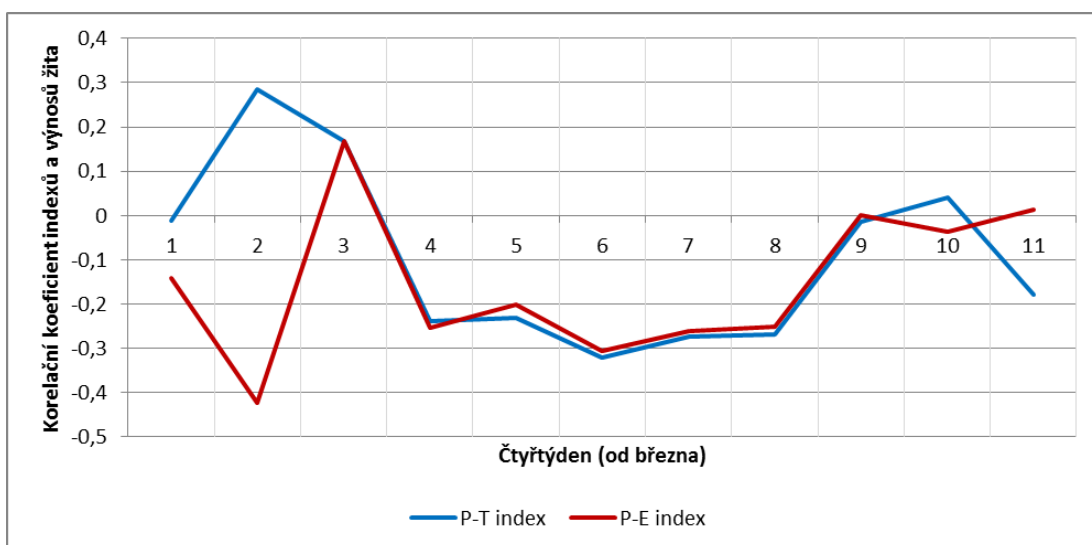
Následují obrázky 23 – 25, kam jsou pro srovnání zaneseny hodnoty korelačních koeficientů P-T a P-E indexu a výnosů obilovin celkem, ječmene a žita za celé období, tedy 1961 – 2010, pro část řeky Metuje od pramene po hlásný profil Hronov. Jak je z obrázků vidět, žádných kladných kritických hodnot indexy nedosahují u obilovin celkem ani u ječmene či žita.



Obrázek 23 Srovnání indexů sucha pro obiloviny celkem v období 1961 – 2010, horní část Metuje

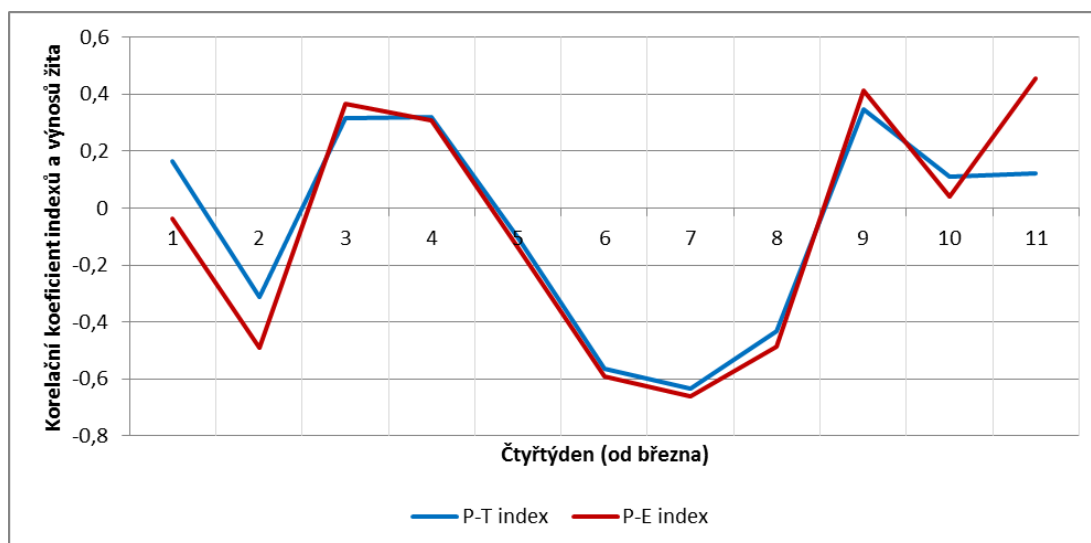


Obrázek 24 Srovnání indexů sucha pro ječmen v období 1961 – 2010, horní část Metuje



Obrázek 25 Srovnání indexů sucha pro žito v období 1961 – 2010, horní část Metuje

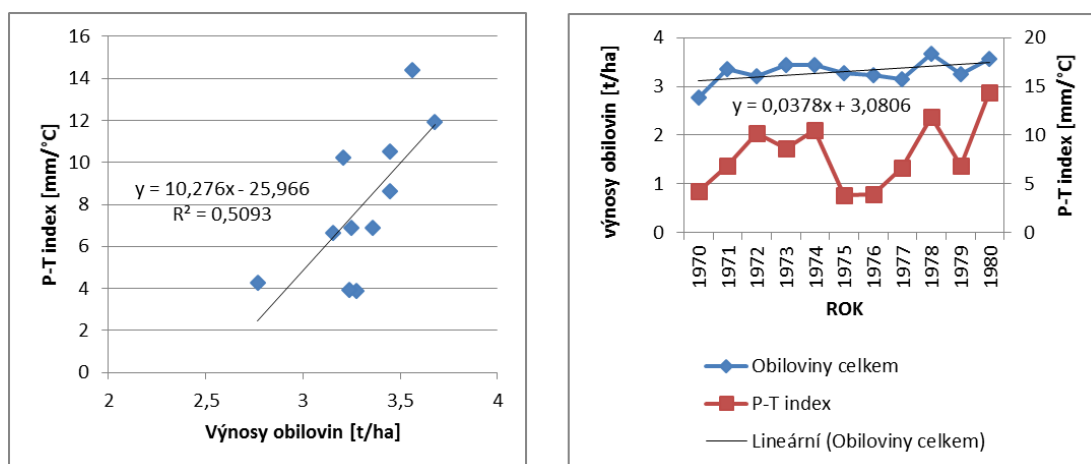
Dále je zařazen obrázek 26, kde je možné vidět graf, který srovnává indexy agronomického sucha pro žito v dekadě 1970 – 1980. Byl vybrán, jelikož u žita v této dekádě se nejvíce projevil záporný korelační koeficient.



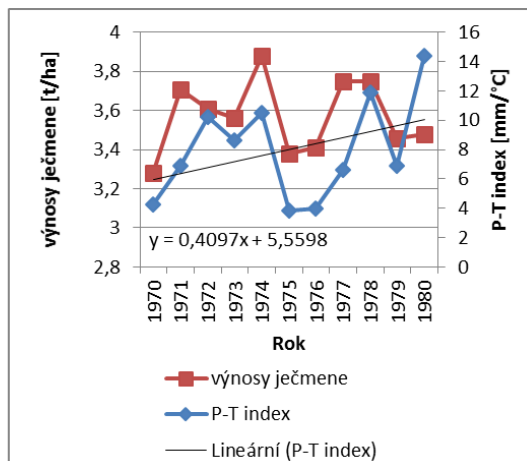
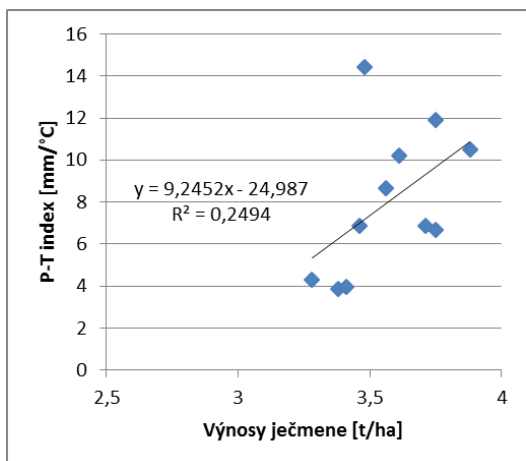
Obrázek 26 Srovnání indexů sucha pro žito v období 1970 – 1980, horní část Metuje

Hodnoty korelačních koeficientů agronomického sucha a výnosů vybraných plodin jsou si velmi podobné. V grafech se v mezi třetím a devátým čtyřtýdnem spojnice téměř kopírují.

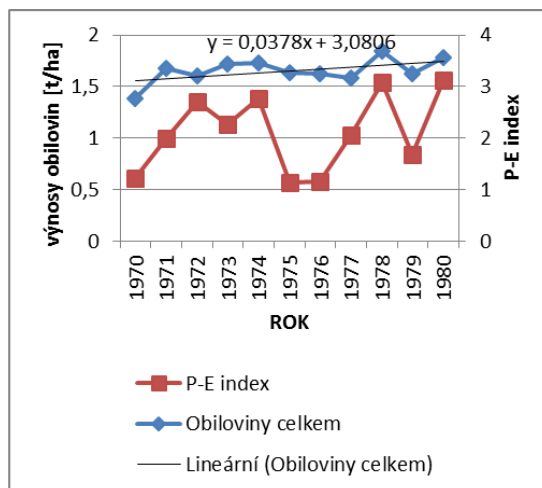
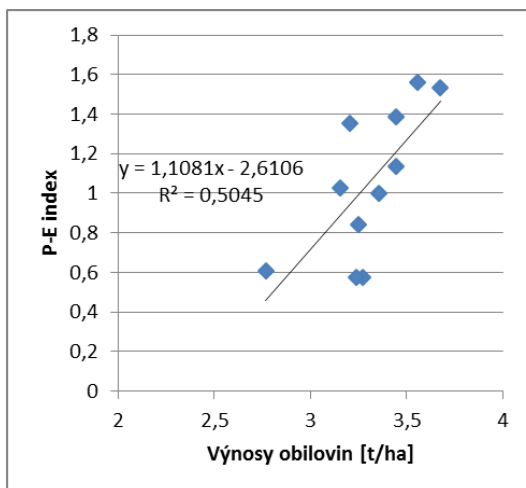
Dále jsou uvedeny korelace výnosů vybraných plodin a P-T a P-E indexů v obrázcích 27 – 30. Tyto obrázky patří k období 1970 – 1980.



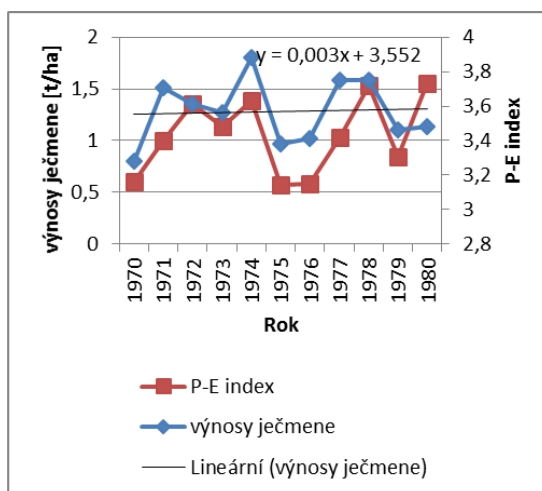
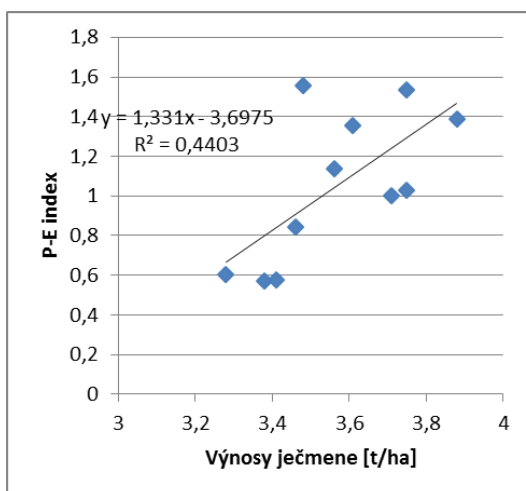
Obrázek 27 Korelace P-T indexu a výnosů obilovin v období 1970 – 1980, horní část Metuje



Obrázek 28 Korelace P-T indexu a výnosů ječmene v období 1970 – 1980, horní část Metuje



Obrázek 29 Korelace P-E indexu a výnosů obilovin v období 1970 – 1980, horní část Metuje



Obrázek 30 Korelace P-E indexu a výnosů ječmene v období 1970 – 1980, horní část Metuje

Nejlépe lze vidět souvislost na obrázku 30 vpravo. Graf zobrazuje souvislost mezi agronomickým suchem a výnosy ječmene. V letech 1975 – 1976 došlo k propadu hodnot P-T i P-E indexu, zároveň se ukazuje snížení výnosů ječmene ve shodném období.

5. DISKUSE

Na výnosy zemědělských plodin má vliv více faktorů. Nedá se říci, že za poklesem výnosů plodin stojí pouze agronomické sucho. Je určitě jedním z významných negativních faktorů, ovšem existují i další, jako například převlhčení v období sklizně, využití špatné agrotechniky, apod.

Podle našich výsledků je problémem v této podhorské oblasti spíše převlhčení v době sklizně, které neblaze působí na výnosy plodin, jak se ukazuje např. v obrázku 16 u korelačních koeficientů brambor a žita.

V porovnání s projekty zabývajícími se vlivem agronomického sucha na výnosy zemědělských plodin v povodí jiných řek a tedy i jiných okresů, jako například Rakovník nebo Louny, jsou naše výsledky jiné. V naší oblasti se vliv sucha na výnosy v podstatě téměř neprojevil, což může být dáno i tím, že lokalita je v podhorské oblasti. V dřívějších výzkumech prováděných na České zemědělské univerzitě se nejčastěji prokazoval vliv sucha v měsíci květnu. V okresu Náchod se tento trend také projevoval, nicméně ve velmi malé míře, a to pouze v dekadách 1970 – 1980 pro plodiny ječmen a žito v Adršpachu. Ve stejné dekádě v horní části toku Metuje pro pšenici a obiloviny celkem. O něco méně pak v dekádě 1990 – 2000 v horní části Metuje, a to pro plodiny žito a pšenici.

Jak je vidět z grafů a hodnot zařazených ve výsledcích, jsou velké rozdíly mezi hodnotami z celého období, tedy z let 1961 – 2010, a z kratších časových úseků. Byly vybrány dekády 1970 – 1980, 1990 – 2000 a 1996 – 2006. V práci se ukázalo, že krátkodobější měřítko je vhodnější, protože v dlouhodobých řadách se ztrácí vliv suchých let a změn v posledních dekadách. Obzvláště pak v našem území, kde se například hydrologické sucho projevuje až v poslední době. Dlouhodobé hodnoty jsou na rozdíl od krátkodobých nízké.

Důvodem rozdílu mezi dlouhodobým a krátkodobým obdobím může být například výskyt suchých let v dekádě nebo různý vliv rostoucího trendu výnosů. Lepším výsledkům by možná pomohlo upravení rostoucích výnosů o jejich trend. Výsledkem by byly tzv. „detrended yield“, jak uvádí Trnka (2007).

Výraznější kladná korelace se ukazuje například pro ječmen v dekádě 1970 - 1980, a to v měsíci květnu (viz obrázek 16). Tato korelace není příliš silná, ale ukazuje na určité ovlivnění výnosu suchem. Podobný výsledek ukazuje obrázek 17,

kde jsou kladné hodnoty výraznější u obilovin celkem, pšenice a ječmene. Mírně vyšší korelace se objevují také v období 1990 – 2000 v horním toku Metuje, kde je zajímavé hlavně porovnání brambor s ostatními plodinami (viz obrázek 19). Například v březnu brambory nabývají záporných hodnot, zatímco korelační koeficienty ostatních plodin se nacházejí v kladném rozmezí 0,4 – 0,6. Tento výsledek potvrzuje také graf zachycující korelační koeficienty P-E indexu a výnosů (viz příloha 6).

Vliv sucha ve vegetačním období na jarní ječmen prokázal Trnka (2007) i pro okres Náchod. Stejný výsledek uvádí také Hlavinka (2009), který doplňuje o výsledky ječmene zimního, kde se ovšem vliv sucha v okresu Náchod neprokázal. Naše vstupní data nerozlišovala ječmen jarní a zimní, protože tyto data nebyli k dispozici. Tato skutečnost mohla snížit výši vypočteného korelačního koeficientu.

Zajímavý výstup se zobrazuje v obrázku 18, kde korelační koeficienty téměř všech plodin pro měsíc červenec nabývají hodnot mezi -0,4 až -0,6. Pro většinu plodin se jedná o období sklizně, kdy má převlhčení záporný vliv. Jedinou plodinou, která má hodnotu téměř 0,5 jsou brambory, což může být dáno tím, že brambory mají jiný fenologický cyklus a dobu sklizně.

Je možné, že výsledky částečně ovlivnil fakt, že okres Náchod a plocha zbilancovaného území horní část toku nebyli totožné. Je ovšem stejně tak možné, že i kdyby byly lokality naprosto stejné, vliv agronomického sucha na výnosy vybraných plodin by se v povodí Metuje stejně neprojevil, protože výnos ovlivňuje celá řada dalších faktorů.

6. ZÁVĚR

Na základě rešerše a dostupné literatury byly pro práci vybrány jednodušší způsoby výpočtu, a to P-T a P-E index a následná korelace.

Data byla shromážděna z různých zdrojů, z nichž většina je dostupná široké veřejnosti. Část dat byla získána od Českého statistického úřadu, další část od Hydrometeorologického ústavu a nezanedbatelný díl dat byl získán od ČZU.

Agronomické sucho bylo hodnoceno pomocí indexů sucha s nižšími požadavky na vstupní data, tedy P-T a P-E index. P-T index byl vypočítán se dvěma řadami dat. V jednom případě se jednalo o bodové údaje ze srážkoměrné stanice Adršpach, ve druhém případě pak o zbilancovanou horní část řeky Metuje (od pramene po Hronov), tedy plošné údaje. Pro tuto práci byly pro zkoumání vlivu sucha použity zemědělské plodiny – obiloviny celkem, pšenice, žito, ječmen a brambory.

Je nutné také upozornit na fakt, že lokality, pro které byly indexy počítány, nejsou zcela stejné. Pro relevantní výsledek by bylo potřebné získat data výnosů plodin a data hydrometeorologická pro shodná území v kompletních řadách.

V práci je možné pozorovat rozdíly mezi výsledky dlouhých časových řad (1961 – 2010) a kratšími obdobími (dekádami). Kratší časové řady vykazují vyšší korelace mezi indexy sucha a výnosy plodin, v některých případech silné (například pro ječmen v dekádě 1970 až 1980). V dlouhodobém měřítku (1961 až 2010) se výrazné pozitivní korelace nevyskytují. Vliv sucha se tedy mírně ukazuje pouze v dekádách. Důvodem rozdílu mezi dlouhodobým a krátkodobým obdobím může být například výskyt suchých let v dekádě nebo různý vliv rostoucího trendu výnosů.

V našem případě se kladná korelace nejvíce projevovала v dekádě 1970 – 1980, kde se dají nalézt mírně vyšší hodnoty u obilovin celkem, pšenice a ječmene. Mluvíme zde o třetím čtyřtýdnu této dekády, což odpovídá zhruba měsíci květnu. Žádná z těchto hodnot však nedokazuje jistě vliv agronomického sucha na výnosy těchto plodin ani u této dekády. Pro potvrzení vlivu sucha by hodnoty korelace musely být rozhodně vyšší.

Zajímavý výsledek této práce se ukazuje v osmém čtyřtýdnu dekády 1970 – 1980 z Adršpachu. Tímto výsledkem je záporný korelační koeficient pro žito.

Hodnota korelačního koeficientu vychází -0,786. Projevuje se zde převlhčení v období sklizně, což se stejně jako agronomické sucho v období růstu plodiny, neblaze projevuje na výši výnosů plodin.

Závěrem tedy nemůžeme říct, že se v povodí Metuje prokazuje vztah mezi agronomickým suchem a výnosy zemědělských plodin. Můžeme ale z výsledků vidět, že agronomické sucho není zdaleka jediným faktorem ovlivňujícím výnos. Jak se ukazuje např. u žita, neméně důležitým faktorem je např. převlhčená půda v období sklizně plodin.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ALLABY M., 2003: *Droughts* – přepracované vydání, Facts on File Incorporated, New York, ISBN 08-160-4793-6, 212 stran.
- BIDWELL J. V., 1973: *A Methodology for Analysing Agricultural Drought*. In: Schulz E. F., Koelzer V. A., Mahmood K. Floods and Droughts, Proceeding of Second International Symposium in Hydrology, September 11-13, 1972, Fort Collins, Colorado, USA. Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, strany 515-522.
- BLINKA, P., 2002: Metoda hodnocení sucha. In ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed): Česko-slovenský bioklimatologická konference, Lednice na Moravě: 32-44.
- BLINKA, P., 2004: *Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území ČR v letech 1876 - 2003*. Online: <http://www.cbks.cz/sbornik04/prispevky/PBLINKA.pdf>, cit. 20.11.2013. ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed): Seminář „Extrémny počasí a podnebí“, Brno, 11. března 2004, 32 stran.
- BRÁZDIL, R., CHROMÁ, K., TOLASZ, R., 2003: *Kolísání extrémně vlhkých a extrémně suchých měsíců v České republice*. Meteorologické zprávy – Meteorological bulletin, ročník 56/3: 7 stran.
- BRÁZDIL, R., KIRCHNER, K. a kolektiv, 2007: *Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku*. Masarykova univerzita, Brno, 271 stran.
- BRUNASH R.J.C., FERRAL R. L., 1973: *Generalized Hydrologic Modeling a Key to Droughts Analysis*, Fort Collins, Colorado, USA
- HAVLÍČEK, V. a kolektiv, 1986: *Agrometeorologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 264 stran.
- HEIM, R. R. JR., 2002: *A review of twentieth-century drought indices used in the United States*. Bulletin of the Americal Meteorology Society, ročník 83/8: 17 stran.
- HERSHFIELD D.M., BRAKENSIEK D.L., COMER G.H., 1973: Some Measures of Agricultural Drought. In Schulz E.F., Koelzer V.A., Mahmood K., Floods and Droughts, Proceedings of the Second International Symposium in Hydrology, September 11-13, 1972, Fort Collins, Colorado, USA. Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, s. 491-502.
- HLAVINKA, P. a kol, 2009: Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. In *Agricultural and forest meteorology*, 149 (2009), s. 431-442.
- HOLKOVÁ, L. & MELIŠOVÁ, L. & BRADAČOVÁ, M. & MIKULKOVÁ, P. & EHRENBERGEROVÁ, J., 2010: Možnosti hodnocení tolerance odrůd ječmene k suchu. *Kvasný průmysl* r. 56 č. 3: 118-122.
- JŮVA, K., 1959: *Závlaha půdy*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 597 stran.
- JŮVA K., 1946: *Závlahové meliorace*. Česká matice technická v Praze. s. 415.
- LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J., 2001: *Palmerův index závažnosti sucha a jeho aplikace pro lokalitu Žabčice*. Online: <http://weathercz.eu/meteo/CBKS/sucho01/litschmann.pdf>, cit. 08. 03. 2013. In: ROŽNOVSKÝ, J., JANOUŠ, D.: Sucho, hodnocení a predikce. Pracovní seminář, Brno, 19. listopadu 2001, 9 stran.

- MARSHALL T.J., HOLMES J.W., ROSE C.W., 1999: Soil Physics, Third Edition. Cambridge University Press, ISBN 0-521-45766-1, s. 453.
- NARASIMHAN, B., 2004: Development of indices for agricultural drought monitoring using a spatially distributed hydrologic model. Dissertation: Texas.
- NOVICKÝ, O., 2011: *Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území ČR*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 84 stran.
- PALMER, W. C., 1965: Meteorological Drought. Washington, D. C.
- PANU, U. S. & SHARMA, T. C., 2002: Challenges in drought research: some perspectives and future directions. Hydrological Sciences Journal 47: 19-30.
- POTOP, V & TURKOTT, L., 2007: Hodnocení sucha a suchých období v agrometeorologickém roce 2005/2006 v České republice. In Střelcová, K., Škvarenina, J. & Blaženec, M. (eds.): Bioclimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Polana nad Slovakia, September 17-20, 2007.
- ROŽNOVSKÝ, J & kol., 2012: Sucho na území ČR a jeho dopady. Český hydrometeorologický ústav: Brno, online: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky_sucho_230412.pdf , cit. 16. 11. 2013.
- ŘÍHA, J., 1987: Voda a společnost. Nakladatelství technické literatury: Praha.
- SÁŇKA, M. & MATERNA, J., 2004: Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. In Planeta 2004. Odborný časopis pro životní prostředí, ročník XII, číslo 11/2004.
- SOBÍŠEK, B. & kol., 1993: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR: Praha.
- TRNKA, P., 2010: *Možné důsledky déletrvajících sucha v naší krajině a ve světě*, Online: http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKA_1.pdf, cit. 15. 11. 2013, 6 stran.
- TRNKA, M., BRÁZDIL, R., HLAVINKA, P., SEMERÁDOVÁ, D., MOŽNÝ, M., ŠTĚPÁNEK, P., DOBROVOLNÝ, P., EITZINGER, J., ŽALUD, Z. 2009: *Hydrometeorologické extrémy*. Folia Mendelovy Zemědělské a Lesnické Univerzity v Brně edice původních vědeckých prací a monografií, ročník II/10: 6 stran.
- TRNKA, M. a kol., 2007: Agricultural drought and spring barely yields in the Czech Republic. In Plant soil environ., 53,2007(7): 306-316.
- VÁŠA F., 1964: Rostlinná výroba. Státní zemědělské nakladatelství Praha, s. 885.
- VAŠKŮ, Z., 2001b: *Čekají nás sucha?* Vesmír: přírodovědecký časopis Akademie věd České republiky, Praha, ročník 80/3, 3 strany.

8. PŘÍLOHY

Příloha 1

YEAR	P-T index											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1961	-9,5	-104,2	23,4	9,7	11,7	4,9	7,9	6,9	1,8	7,7	41,5	-13,9
1962	-29,0	-20,7	-15,1	4,6	13,4	3,0	4,0	3,0	7,8	8,8	43,7	-10,8
1963	-3,9	-3,1	-16,6	2,2	16,4	11,7	2,0	5,8	12,1	7,0	16,0	-0,6
1964	-1,4	-6,7	-7,9	7,4	4,3	7,8	3,0	17,5	2,3	39,0	42,8	-13,2
1965	-22,9	-9,2	-13,9	23,3	19,8	7,8	6,4	4,3	4,1	2,3	-29,2	-142,6
1966	-5,4	70,8	-666,5	5,2	5,5	9,5	12,0	11,8	2,5	5,6	38,1	-78,5
1967	-10,8	-35,1	25,9	14,7	11,8	8,5	8,0	3,8	13,0	5,8	28,4	-37,7
1968	-10,0	-14,2	78,5	7,7	12,3	8,3	6,2	8,0	6,0	7,3	33,8	-3,3
1969	-8,0	-6,8	-21,2	12,2	5,0	5,8	2,6	4,2	2,0	5,7	26,7	-2,0
1970	-3,7	-16,4	-23,1	19,1	4,4	2,8	7,7	8,6	3,2	14,1	24,3	-20,2
1971	-3,7	-31,8	-11,9	10,3	8,1	10,5	3,6	3,4	5,7	5,0	291,5	44,6
1972	-2,9	-555,1	14,5	11,7	12,4	3,9	5,2	4,1	13,7	4,9	31,3	-1,4
1973	-5,3	-36,7	48,7	18,6	8,5	3,2	6,6	1,7	1,9	17,5	-103,3	-34,5
1974	-79,1	74,2	5,8	2,3	10,4	9,9	7,5	5,4	3,1	66,0	29,2	90,6
1975	50,9	-6,5	72,4	8,4	6,8	7,2	6,2	3,0	1,5	16,9	887,0	-40,5
1976	-51,1	-9,8	-11,9	4,2	5,8	2,3	5,0	5,9	4,6	11,0	29,8	-17,5
1977	-15,9	-50,5	10,4	15,8	8,3	7,5	9,2	11,0	6,7	3,3	35,9	-27,0
1978	-22,0	-2,0	32,7	10,7	8,3	3,3	5,7	5,5	6,8	8,9	77,1	-69,6
1979	-8,8	-10,2	87,0	12,0	1,5	7,1	4,7	5,5	8,0	6,0	62,9	60,9
1980	-7,2	-34,1	-40,3	36,6	3,0	9,1	18,5	3,3	5,5	21,4	477,7	-21,5
1981	-12,7	-12,9	12,7	8,5	2,7	3,3	10,3	9,0	5,2	32,9	47,9	-23,8
1982	-11,5	-0,8	46,4	22,1	10,9	7,1	2,4	2,3	2,5	2,9	11,1	-351,3
1983	115,6	-12,1	30,9	8,2	10,0	4,0	1,1	2,9	5,0	6,7	182,0	-18,8
1984	-38,5	-21,9	-16,7	11,6	6,4	5,4	6,5	4,4	16,6	3,5	26,9	-8,1
1985	-5,7	-6,6	824,9	13,2	9,4	9,2	4,3	10,7	2,8	4,7	-94,1	45,0
1986	-29,9	-0,8	108,2	5,9	6,6	7,1	7,5	13,8	7,7	13,7	9,2	-96,4
1987	-7,6	-16,4	-9,5	8,4	8,4	6,1	5,7	7,1	6,7	4,5	21,8	-55,2
1988	96,2	-91,1	-96,8	2,5	1,7	7,7	10,0	6,6	9,5	3,2	-38,2	-587,7
1989	-11,0	104,8	17,7	15,1	3,6	8,4	3,7	5,4	7,0	8,3	-252,9	-115,4
1990	-30,4	50,4	5,7	12,0	3,4	6,5	2,0	4,3	10,2	6,4	34,4	-45,8
1991	-23,0	-4,0	13,0	9,4	11,2	6,9	4,6	4,4	2,5	7,4	58,1	-29,5
1992	-16,9	-113,5	222,0	7,6	3,1	2,7	5,2	3,3	3,5	23,4	27,1	-23,8
1993	-37,3	-16,5	-70,6	2,8	7,7	5,6	10,2	3,8	7,2	13,6	-61,8	260,4
1994	192,6	-7,4	47,0	11,5	8,7	3,0	3,5	7,6	9,2	17,2	14,1	342,4
1995	-35,0	53,5	-375,1	14,5	7,7	9,2	5,4	5,0	13,0	1,3	-134,8	-15,6
1996	-1,4	-5,9	-14,2	10,5	10,7	3,8	11,0	7,6	14,8	8,6	12,7	-4,7
1997	-2,3	-91,3	25,5	31,2	8,8	5,7	22,4	4,2	3,0	24,9	27,5	1438,9
1998	-75,8	17,5	1431,2	5,4	1,8	7,7	10,5	3,9	12,0	31,5	-61,9	-15,6
1999	-38,0	-24,2	25,1	8,6	2,6	8,6	4,2	3,9	2,8	7,8	45,4	-68,1

2000	-22,9	405,4	95,2	1,6	7,6	4,6	10,5	4,1	4,3	2,7	14,7	366,2
2001	-14,8	-19,7	145,1	15,1	5,0	8,2	11,2	11,2	10,9	2,7	-603,8	-11,9
2002	-13,2	67,7	22,2	8,9	2,4	4,9	4,3	7,9	7,2	14,5	17,1	-4,5
2003	-20,3	-2,1	23,5	7,8	8,8	2,6	4,2	3,0	4,6	15,8	5,3	-46,0
2004	-12,5	-30,6	77,3	6,0	5,1	4,9	5,0	2,3	3,3	5,0	35,5	-23,1
2005	-52,7	-10,7	-28,9	5,7	8,3	4,4	7,3	5,1	6,1	0,7	41,5	-37,3
2006	-1,6	-6,6	-21,8	10,5	3,6	7,9	2,5	15,4	2,1	4,6	11,8	27,3
2007	50,7	46,8	17,0	0,9	3,6	4,8	9,7	4,9	9,6	5,3	83,3	-33,6
2008	132,2	57,6	41,7	4,4	6,7	1,7	3,3	4,0	3,9	10,9	11,1	324,1
2009	-5,5	-25,7	38,7	0,7	9,7	8,5	6,9	4,6	1,5	15,7	8,3	-22,2
2010	-7,3	-9,5	1386,5	7,2	13,8	3,3	5,0	12,5	10,8	1,9	22,8	-10,8

Příloha 1 Výsledné P-T indexy pro jednotlivé měsíce v letech 1961 – 2010

Příloha 2

čtyřtýden	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	-0,317	-0,170	-0,037	-0,211	-0,461
2	-0,403	-0,244	-0,491	-0,167	-0,468
3	0,663	0,603	0,367	-0,299	0,664
4	-0,052	-0,238	0,306	-0,040	0,509
5	0,285	0,189	-0,140	-0,770	0,205
6	-0,439	-0,370	-0,592	-0,098	-0,270
7	-0,351	-0,158	-0,662	0,080	-0,082
8	-0,126	0,081	-0,485	-0,033	0,006
9	0,169	-0,102	0,413	0,066	0,234
10	0,172	0,274	0,042	-0,173	-0,057
11	0,275	0,308	0,457	0,305	0,026

Příloha 2 Korelační koeficienty P-E indexu a výnosů plodin 1970-1980, horní část Metuje

Příloha 3

čtyřtýden	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	-0,477	-0,427	-0,262	0,022	-0,520
2	-0,406	-0,398	-0,140	-0,300	-0,308
3	0,450	0,524	0,526	-0,318	0,434
4	-0,163	-0,204	-0,499	0,293	-0,227
5	-0,328	-0,428	-0,321	0,382	-0,252
6	-0,426	-0,432	-0,483	0,263	-0,425
7	-0,237	-0,168	-0,360	-0,083	-0,292
8	-0,153	-0,122	-0,327	-0,053	-0,159
9	-0,192	-0,276	-0,081	0,240	-0,109
10	0,279	0,312	0,071	-0,139	0,242
11	0,496	0,531	0,207	-0,196	0,444

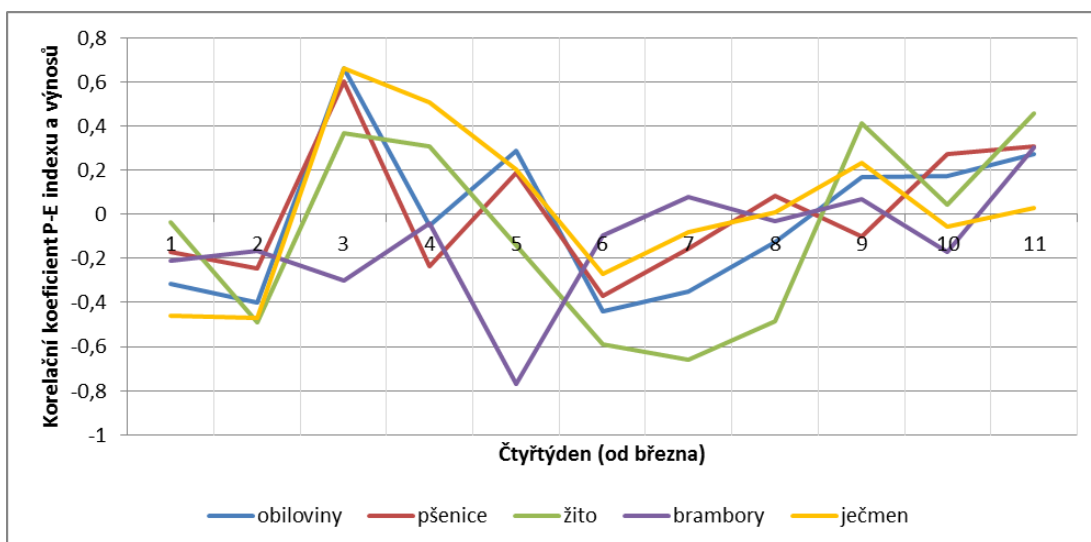
Příloha 3 Korelační koeficienty P-E indexu a výnosů plodin 1990-2000, horní část Metuje

Příloha 4

čtyřtýden	obiloviny	pšenice	žito	brambory	ječmen
1	0,034	0,120	-0,028	0,748	0,269
2	-0,368	-0,300	-0,566	-0,227	-0,107
3	0,117	0,048	0,392	0,039	0,295
4	0,030	0,130	-0,369	0,253	0,097
5	-0,259	-0,228	-0,415	0,011	0,055
6	-0,350	-0,300	-0,523	-0,152	0,068
7	-0,297	-0,212	-0,366	-0,177	-0,339
8	-0,185	-0,097	-0,351	0,020	-0,053
9	-0,296	-0,343	-0,216	-0,169	-0,261
10	0,609	0,709	0,065	0,080	0,223
11	0,413	0,534	-0,042	-0,228	0,296

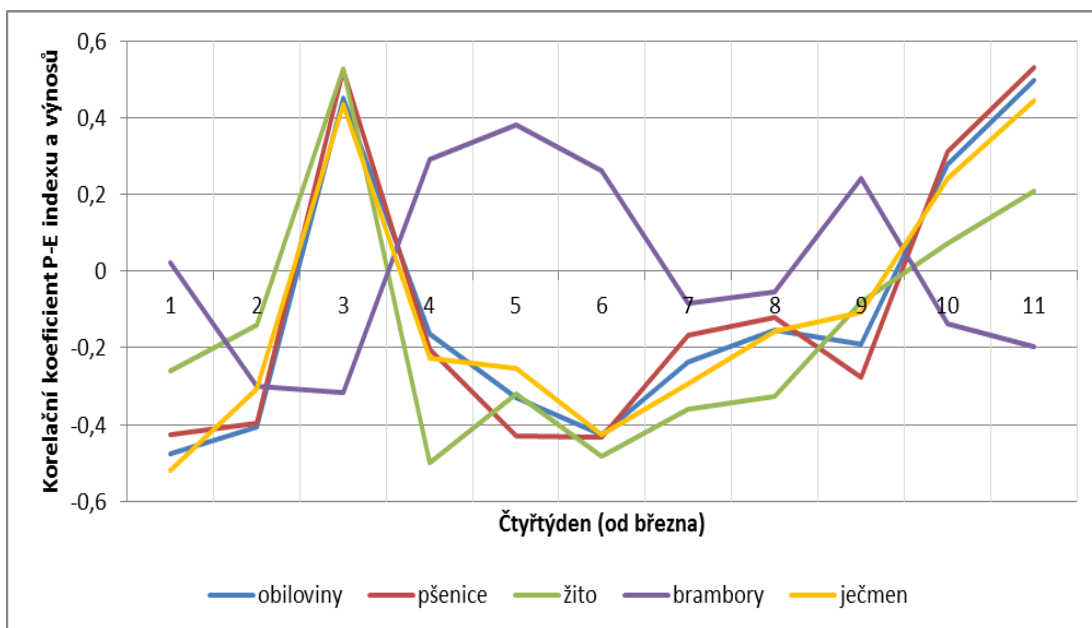
Příloha 4 Korelační koeficienty P-E indexu a výnosů plodin 1996-2006, horní část Metuje

Příloha 5



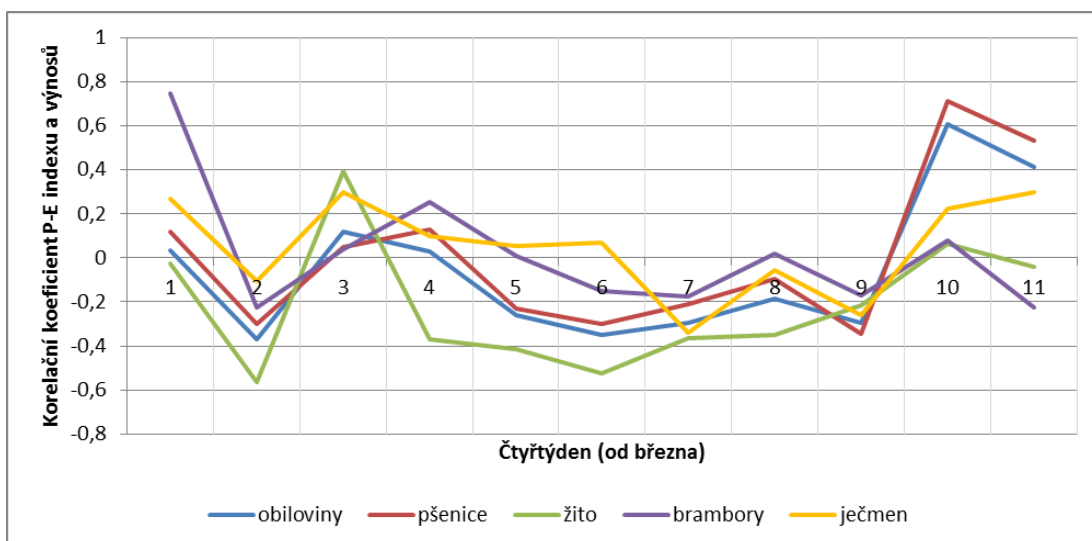
Příloha 5 Korelace hodnot P-E indexu a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1970 – 1980, horní část Metuje

Příloha 6



Příloha 6 Korelace hodnot P-E indexu a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1990 – 2000, horní část Metuje

Příloha 7



Příloha 7 Korelace hodnot P-E indexu a výnosy obilovin celkem, pšenice, žita, brambor a ječmene v období 1996 – 2006, horní část Metuje