

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Agropodnikání

Katedra: Katedra krajinného managementu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Význam dálkového průzkumu Země pro hodnocení hospodářských
dopadů sucha**

(A usability of remote sensing for evaluation of economic impact of
drought)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jakub Brom, Ph.D.

Autor: Lenka Franková

České Budějovice, listopad 2011

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lenka FRANKOVÁ**
Osobní číslo: **Z08233**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Agropodnikání**
Název tématu: **Význam dálkového průzkumu Země pro hodnocení
hospodářských dopadů sucha**
Zadávající katedra: **Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování:

Práce bude mít charakter literární studie. Náplní práce bude vypracování literárního přehledu o hospodářské problematice sucha v České republice a možnosti využití metod dálkového průzkumu Země pro hodnocení projevů sucha.

1. Vypracování literární rešerše problematiky sucha a jeho hospodářského významu v České republice.
 2. Vyhodnocení možnosti využití dálkového průzkumu Země pro hodnocení vodního stresu vegetačního krytu a dopadů sucha.
 3. Provedení adekvátního statistického vyhodnocení získaných údajů a jejich diskuse v širších souvislostech ekologické funkce vegetace a krajinných struktur.
- Práce bude vypracována v rámci výzkumného záměru Zemědělské fakulty, MSM 6007665806.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Jakubu Bromovi, Ph.D., za jeho cenné rady, odborné připomínky, za pomoc při vypracování a za zapůjčení odborné literatury. Neméně děkuji celé své rodině za podporu při studiích.

ABSTRAKT

Sucho je přírodní fenomén, který má významný vliv na hospodářskou činnost člověka a další oblasti lidského života. Tato práce, na základě literárních podkladů shrnuje současné dostupné informace o problematice sucha. Práce je primárně zaměřena na hospodářskou problematiku sucha v České republice, ale shrnuje i ostatní oblasti problematiky sucha, jako jsou např. sociologické dopady. Pohled je věnován obecně používaným metodám pro studium a hodnocení sucha. Vzhledem ke vztahu sucha k vodnímu stresu rostlin a vegetačního krytu je tato problematika též shrnuta. Vedle hodnocení sucha a související problematiky se práce zabývá otázkou možnosti využití technik dálkového průzkumu Země v hodnocení sucha a vodního stresu vegetačního krytu, který může být indikátorem sucha. Jsou diskutovány možnosti využití optických a termálních metod. Problematika sucha je diskutována v širších souvislostech ekologických funkcí krajiny. Je diskutován možný vliv člověka na sucho.

Klíčová slova: Sucho, dálkový průzkum Země, vodní stres rostlin.

SUMMARY

Drought is a natural phenomenon which has got an important influence on human economic activity and other areas of human life. This work, based on literary sources, summarizes current available information about the issue of drought. The work is primarily focused on agricultural problems with drought in the Czech republic but summarizes even the other problems of drought, for example sociological impacts. There is also a perspective given to the generally used methods for studying and evaluation of drought. Considering the relation of drought to water stress of plants and vegetative covering the problems are also summarized. Besides the evaluation of drought and related problems, the work deals with the question of the possibility of usage of technology for remote sensing the Earth in evaluation of drought and water stress of vegetative covering which may be the indicator of the drought. There are discussed possibilities of usage optical and thermal methods. The problem of drought is discussed in broad context of ecological function of the landscape. Potential human influence on drought is discussed.

Key words: Drought, remote sensing, water stress of plants.

Obsah

1. ÚVOD	7
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED	9
2.1. Historie sucha a jeho měření na území České republiky.	9
2.2 Pojem sucho	10
2.2.1 Meteorologické sucho	12
2.2.2 Zemědělské sucho	16
2.2.3 Hydrologické sucho	16
2.2.4 Socioekonomické sucho	16
2.3 Příčiny sucha	18
2.4 Prognóza výskytu sucha v České republice do roku 2050	19
2.5. Dopady sucha	21
2.5.1 Ekonomické dopady sucha	21
2.5.2 Environmentální dopady sucha	22
2.5.3 Sociální dopady sucha	22
2.6 Riziko ohrožení zemědělským suchem, které monitoruje Český hydrometeorologický ústav	23
2.7. Vodní bilance rostlin	25
2.7.1 Odolnost rostlin vůči suchu	26
2.7.2. Schopnost rostlin oddálit vysušení	27
2.7.3 Index relativního sucha.....	29
2.7.4 Vodní sytostní deficit	29
2.7.5 Vodní stres rostlin.....	30
2.7.6 Vláhový deficit rostlin	32
3. DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ	34
3.1. Rozdělení metod Dálkového průzkumu Země	35
3.1.1 Systém dálkového průzkumu Země	37
3.1.2 Dálkový průzkum Země v zemědělství	38
3.1.3 Spektrální projev vegetace.....	39
3.1.3 Využití dálkového průzkumu Země pro hodnocení vodního stresu rostlin	40
3.1.4 Optický dálkový průzkum	40
3.1.5 Termální dálkový průzkum	44
3.2 Ekologická funkce vegetace a struktura krajiny v období sucha	45
ZÁVĚR	49
SEZNAM LITERATURY	51

1. Úvod

Sucho je klimatický problém, který se vyskytoval, vyskytuje a vyskytovat bude. Je často spojován s globálním oteplováním, ale problematika tohoto extrému je poněkud složitější. Sucho je problémem, při kterém je mnohdy hlavním viníkem člověk. Tím, že nevhodně zasahuje do vegetace, odvodňuje pozemky a odlesňuje plochy, dochází k narušení vodního cyklu. Sucho můžeme popsat jako klimatický extrém, ale mnohdy bývá označován jako nedostatek vody v krajině.

Všechny živé organismy potřebují vodu pro přežití. Rostliny při nedostatku vody začínají trpět vodním stresem. Pro rostliny tímto vzniká vodní deficit. Reakce rostlin v období sucha jsou různé podle druhů a také podle toho v jaké vegetační fázi se právě nacházejí. Rostliny reagují na sucho tím, že uzavírají své průduchy, aby se omezila transpirace (výpar).

Česká republika není suchem tolik zasažena, ale i zde jsou oblasti, kde se sucho vyskytuje častěji a to převážně na Moravě, Slezsku a ve Středních Čechách. Sucho snižuje výnosy z plodin, a proto přicházejí zemědělci často o své zisky. Ekonomické důsledky sucha jsou mnohdy dalekosáhlé a k jejich odstranění je zapotřebí nemalých finančních prostředků.

Pro hodnocení sucha v současné době neexistuje dostatečné množství metod. Hlavním problémem při výzkumu sucha je, že nejsme schopni přesně určit jeho délku. Avšak pro stanovení začátku a konce sucha můžeme využít například PDSI (Palmer Drought Severity Index), nebo metodu EP (Effective Precipitation). Do výpočtu těchto indexů vstupují následující faktory: srážky, teplota, evapotranspirace a půdní vláhá.

Jednou z možností hodnocení je dálkový průzkum Země (DPZ). Využívají se snímky z letadla nebo družice. Hodnocení sucha v zemědělství má velký význam pro výzkumy, které se týkají stavu rostlin a jejich zdravotního stavu. Dálkový průzkum Země nám poskytuje vstupní data pro hodnocení sucha. Dálkový průzkum Země využívá nekontaktní metodu, kde je důležité odrazení elektromagnetického záření, pomocí kterého sledujeme chování vegetace. Ve vztahu k suchu můžeme využít oblasti vodní absorpce a spektrální projevy vody a půdy. Problematika dálkového průzkumu je důležitá pro účely národního hospodářství zejména pak v oblastech zemědělství, ochrany půdy a dále také pro jejich budoucí vývoj.

Cílem mé práce bylo shrnutí literárních poznatků o problematice sucha, jak sucho rozdělujeme, jak vzniká, jaké problémy způsobuje, jaký má vliv na rostliny a vegetační kryt a jaké jsou jeho hospodářské dopady. Dále se práce zaměřuje na monitoring sucha a možnosti hodnocení sucha pomocí metod dálkového průzkumu Země.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1. Historie sucha a jeho měření na území České republiky.

Zprávy o výskytu suchých let či období jsou na rozdíl od extrémních povětrnostních jevů nebo od záznamů o povodních velmi skoupé. Důležité je, kdy vlastně na území ČR začala instrumentální éra posuzování výskytu sucha a pravidelného měření srážek. Měření srážek je jedním z nejdůležitějších přístupů, jak posuzovat výskyt sucha na našem území. Počátky měření srážek v Česku sahají 250 let zpátky. Starší informace o výskytu hydrometeorologických extrémů můžeme získat jen z historických pramenů, převážně písemných. Hospodářské důsledky suchých let nebyly podrobněji komentovány. Prof. F. Augustín před 110 lety poznamenal, že jeho seznam historických zmínek o výskytu sucha je neúplný (Munzar, 2004).

Objevují se problémy s obecnou lokalizací a datací a ne všechny případy sucha se zaznamenávaly. Pro účely studia kolísavosti sucha v minulosti stěží využijeme stručný údaj. Jde o obecné označení postiženého regionu, není zřejmá ani roční doba, ani délka suchého období (Munzar, 2004).

Za nejstarší konkrétní zprávu o suchu v Česku je považován záznam v Kosmově kronice k roku 1121, kde bylo zaznamenáno, že sucho trvalo 3 měsíce od března do května. Až v průběhu 16tého století se vyskytuje více zpráv o počasí. Kronikář z Jihlavska v roce 1532 uvedl, že léto bylo suché a pršet začalo až po 4. červenci a přšelo 4 dny. K. Pejml se vyjádřil, že léto 1532 bylo „patrně suché a teplé“, ale jenom na základě nepřímé informace z Mimoňska, protože byla špatná úroda a nedostatek potravin. Již od roku 1891 byla znalost problematiky suchých období, jejich délky a jejich trvání důležitá pro různá odvětví národního hospodářství a pro jeho budoucí vývoj. Zejména pro specifikaci rizik, se kterými je třeba počítat (Možný, 2004).

2.2 Pojem sucho

Pojem „sucho“ je obtížně definovatelný. V některých literárních zdrojích se dozvídáme, že sucho je klimatický stav, kdy spadne méně srážek, než je typické pro určité časové období. Sucho je stav, kde stanovený denní limit srážek není překročen. V období sucha se snižuje stav hladin podzemních vod a zároveň také vydatnost pramenů. Z hlediska národního hospodářství sucho způsobuje snížení zemědělské úrody a problémy se zásobováním vodou (Červený a kolektiv, 1984).

Sucho je klimatický problém, který se vyskytuje téměř ve všech regionech světa. Způsobuje fyzická muka, ekonomické ztráty a zhoršení životního prostředí. Je velice těžké určit, kdy se suché období změní v sucho, a kdy se nebývalé sucho změní v kritické sucho. Sucho je pomalejší a méně dramatický proces, než jaké jsou ostatní přírodní katastrofy, ale jeho důsledky jsou déle trvající a rozsáhlé. Náklady a bída spojené se suchem jsou v tomto případě horší než tajfuny, zemětřesení a všechny ostatní klimatické katastrofy. Sucho má za následek méně vody v půdě, řekách, rezervoárech, méně vody pro hospodářská zvířata a zvířata volně žijící v přírodě a chudé sklizně a pastviny. Řetěz důsledků, které budou následovat, způsobí například: nízký zisk z farem, konec podpory odvětví, která tyto farmy podporují, a také může zapříčinit snížení počtu vodních elektráren. Definice sucha není jednoduchá a otázka, co je sucho, bude i nadále představovat problém. Je to proto, že sucho může znamenat něco jiného pro každého z nás a pravděpodobně existuje stejný počet definic pro sucho, jako je počet odběratelů vody. V globálu suchem rozumíme nedostatek srážek a nedostatek vody (Brázdil, Kirschner a kolektiv, 2007).

Sucho je víceméně projev klimatu, který se opakuje. Je to přechodná anomálie a může se vyskytovat v různých klimatických zónách. Může se projevat v průběhu sezóny nebo zbylé části roku. Také je rozdílné podle oblasti, kde se nachází. V průběhu sucha vzniká nerovnováha mezi srážkami a evapotranspirací.

Evapotranspirace je vlastně množství vody, které rostlina převádí v procesu transpirace a množství vody, která se za stejnou dobu vypaří z povrchu půdy mezi rostlinami. Evapotranspiraci můžeme označit jako celkový výpar vody. Tento výpar se rozděluje na výpar intercepční (výpar vody, který je zachycen při srážkách na povrchu rostlinných orgánů) a je označován jako výpar neproduktivní, kdežto výpar produktivní (transpirační) se hodnotí z hlediska podmínek růstu rostlin. Intercepční

výpar je pro rostliny bez přímého užitku a ovlivňuje růst rostlin nepřímo. Transpirační výpar probíhá za daleko složitějších podmínek. Transpirační výpar je množství molekul schopných opustit povrch listu a množství molekul, které se z okolního vzduchu vracejí k transpirujícím orgánům. Intenzita evapotranspirace je ovlivňována jak vnitřními tak vnějšími faktory. Mezi vnitřní faktory řadíme například: druh rostlin, anatomickou stavbu rostlin, jejich stáří a anatomickou stavbu jejich orgánů, jejich stáří a obsah vody v buňkách. Mezi vnější faktory řadíme chemické i fyzikální vlastnosti půdy, hustotu rostlin a pokryvnost listovou. Při nedostatku vláhy převládá vliv vnitřních faktorů. Evapotranspiraci můžeme rozdělit také podle podmínek na aktuální (reálná evapotranspirace) a potenciální. Aktuální evapotranspirace je děj, při kterém se vypaří určité množství vody z rostlin a z povrchu půdy současně. Je to závislé na zásobě vody v půdě a obsahu vody v rostlinách, které jsou pro transpirační procesy dostupné. Potenciální evapotranspirace probíhá pouze v případě, že jsou splněny výše uvedené předpoklady (Havlíček a kolektiv, 1986).

Meteorologický slovník výkladový a terminologický vyjadřuje pojem sucho velmi obecně jako velmi neurčitý avšak v meteorologii velmi často užívaný pojem, který v zásadě znamená nedostatek vody, a to jak v půdě v rostlinách či v atmosféře (Blinka, 2004). Důležité je připomenout, že sucho ovlivňuje různé složky krajinné sféry. Stanovit začátek a konec sucha je velice obtížné a je třeba mít k dispozici řadu meteorologických a hydrologických veličin. Efektivita sucha se kumuluje a to tím způsobem, že jeho intenzita se zvyšuje s přibývajícými dny. Dopady sucha mají následky ještě několik let po výskytu normální intenzity srážek. Také vyčíslování škod způsobené suchem, bývá velice složité. Sucho se hodnotí jak z prostorového tak z časového hlediska a určuje se i jeho síla. Mezi nejvýznamnější faktory sucha řadíme: vysoké teploty, rychlost větru a nízkou vlhkost vzduchu (Blinka, 2004).

Problematika sucha není nijak nová, neboť suché roky v našich oblastech se v minulosti objevovaly s určitou pravděpodobností výskytu. Přesto se ukazuje, že stále ještě nemáme dostatek metod pro identifikaci tohoto extrému. Samozřejmě trend počtu suchých měsíců roste a podle scénářů klimatických změn bude pokračovat i v budoucnu (Možný, 2004).

Sucho je nedílnou součástí klimatických podmínek a výrazně ovlivňuje řadu aktivit lidské společnosti. Termín sucho vyjadřuje relativně krátkodobou zápornou odchylku vodní bilance od normálu, tedy stav, kdy výdej vody v krajině převažuje

nad jejím přísunem. Primární příčinou vzniku sucha je v našich podmínkách bez výjimky deficit srážek v určitém časovém intervalu, např. v průběhu vegetačního období nebo jeho části. Spolupůsobení ostatních meteorologických prvků, zejména vyšší teploty vzduchu, intenzivnějšího proudění vzduchu, případně jeho nízké relativní vlhkosti, může významně přispět k prohloubení důsledků tohoto deficitu. Protože prakticky nelze odvodit obecně platnou a různými disciplínami uznávanou a použitelnou definici sucha, většina autorů rozlišuje čtyři sucha podle jeho dominujících projevů a to sucho meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické (Heim, 2002). Mezi jednotlivými typy sucha existuje zřejmá časová posloupnost, přičemž jeho jednotlivé projevy se mohou vyskytovat současně.

2.2.1 Meteorologické sucho

Meteorologické sucho je definované nejčastěji časovými a prostorovými, srážkovými poměry, např. výskytem suchého nebo vyprahlého období. Kromě množství a intenzity spadlých srážek vztažených k dlouhodobým srážkovým normálům pro dané místo a roční dobu. Existují různé definice meteorologického sucha v závislosti i na dalších meteorologických prvcích, a to hlavně rychlosti větru, na výparu, teplotě vzduchu, vlhkosti vzduchu. Meteorologické sucho je zápornou odchylku srážek od normálu během určitého časového období, podmiňuje vznik sucha zemědělského, hydrologického, případně i socioekonomického. Zda se jednotlivé epizody meteorologického sucha projeví např. ve snížení výnosu zemědělských plodin nebo zda dojde k poklesu průtoků na vodních tocích, či dokonce zda se odrazí v sociálních a ekonomických poměrech, je kromě samotné délky a intenzity meteorologického sucha ovlivněno (Brázdil, Kirschner a kolektiv, 2007):

- a) Obdobím výskytu (např. v klíčových fenologických fázích významných zemědělských plodin či v období zvýšených nároků na spotřebu vody)
- b) Přijetím opatření ke zmírnění následků sucha (např. využití závlah, zvýšení průtoků z vodních rezervoárů apod.)

Každá epizoda sucha je proto unikátní nejen svým průběhem, ale i následky. V teplotně extrémním roce 2000 velká sucha a horka od dubna do června zapříčinila neúrodu obilovin zvláště na jižní Moravě, přičemž ztráty kompenzované zemědělci ze státního rozpočtu dosáhly asi 5 miliard Kč. U jarní pšenice, která je zvláště citlivá na srážky v uvedeném období, poklesl průměrný hektarový výnos z 3,9 t.ha v roce 1999 na 2,8 t.ha v následujícím roce (Brázdil, 2003).

Kromě toho nedostatečná vlhkost půdy zhoršuje půdní mikroklima a koloběh živin, ztěžuje obdělávatelnost a zvyšuje náchylnost k větrné erozi. Přesná kvantifikace vztahů mezi intenzitou a trváním sucha a rostlinnou produkcí je poměrně problematická, neboť v systému půda – rostlina – atmosféra působí celá řada vzájemně se ovlivňujících faktorů (Brázdil, Kirchner a kolektiv r. 2007).

Pro kvalifikaci sucha je využívána řada různých charakteristik, z nichž byly pro popis časových a prostorových změn meteorologického sucha zvoleny indexy:

- Standardizovaný srážkový index
- Langův dešťový faktor
- Palmerův index intenzity sucha
- Palmerův Z – index
- Index meteorologicky možného sucha

Standardizovaný srážkový index

Standardizovaný srážkový index (SPI - Swiss Performance Index) vychází z konceptu standardizovaných srážkových úhrnu za předem definované období (např. 1 měsíc). Standardizovaným srážkovým úhrnem se rozumí podíl diferencí úhrnu srážek za dané období od průměru a směrodatné odchylky srážkových úhrnů. Standardizovaný srážkový úhrn je přímo úměrný srážkovému deficitu a jeho hodnotu je možné snadno vyjádřit prostřednictvím pravděpodobnosti výskytu, jako bezrozměrný index SPI. SPI, nabývá obvykle hodnot v rozmezí – 3 až +3, přičemž záporné hodnoty indexu popisují období podprůměrných srážek. Pomocí SPI lze sledovat epizody sucha v různých časových intervalech, takže lze hodnotit výskyt sucha krátkodobého (s trváním v řadu týdnů), střednědobého (od 3 měsíců) i dlouhodobého (12 měsíců a déle). Možnost aplikovat SPI pro libovolně dlouhé časové intervaly, představuje hlavní výhodu indexu a je jedním z důvodů jeho širokého využití (Atlas Podnebí Česka, 2007).

Langův dešťový faktor

Charakter a zejména následky epizod sucha nelze obvykle beze zbytku vyjádřit jen jako funkci srážkového deficitu, ale je nezbytné doplnění i o složku výdejovou. Z tohoto důvodu některé indikátory posuzují epizodu sucha nikoliv jen jako období nedostatku srážek, ale jako periodu nevyrovnanosti vodní bilance území. (Atlas Podnebí Česka, 2007)

Jedním z nejstarších a nejjednodušších indikátorů sucha, který se o tento přístup pokouší, je Langerův dešťový faktor (LDF) nebo zejména v zemědělství často aplikovaný Hypotermický koeficient podle Seljaninova (Kurpelová a kolektiv, 1975). Obliba těchto indexů vychází zejména z jejich jednoduchosti, neboť v případě LDF se jedná o podíl průměrného ročního úhrnu srážek a průměrné roční teploty vzduchu.

Palmerovy indexy sucha

Palmerovy indexy sucha byly vyvinuty ve druhé polovině 60. let 20. století a byly označeny jako „nejlepší možné řešení kombinující vliv teploty a srážek pro sledování sucha (Atlas Podnebí Česka, 2007).

Palmerův index intenzity sucha (Palmer Drought Severity Index – PDSI) a Palmerův Z – index jsou indexy sucha a jejich výpočet vychází z vodní bilance studovaného území. Vodní bilance zahrnuje úhrn srážek za sledované období (typicky 1 měsíc), aktuální obsah vody v půdě a výdejovou evapotranspirační složku vypočtenou pomocí Thornthwaitovy metody (Atlas Podnebí Česka, 2007, Nosek, 1972). Palmer vyšel z předpokladu, že půdní profil je možné redukovat na dvě vrstvy – svrchní ornici a spodní vrstvu kořenovou. Dokud není orniční vrstva plně nasycená vodou, nedochází k perkolaci do spodní vrstvy. Povrchový odtok je do výpočtu indexu zahrnut až v okamžiku, kdy jsou obě půdní vrstvy nasyceny na hodnotu maximální retenční kapacity a zároveň je pokryt výdej vody evapotranspirací v příslušném měsíci (Atlas Podnebí Česka, 2007).

Stanovení obou indexu začíná odvozením složek vodní bilance a v konečné fázi je rozdíl mezi skutečnými srážkami a hodnotou klimatologického optima převeden na bezrozměrné číslo označované jako Z – index. Jde tedy o odchylku srážek od klimatologického optima v konkrétním měsíci bez ohledu na stav vodní bilance v předcházejícím období (Atlas Podnebí Česka, 2007).

Výpočet PDSI vychází z hodnoty Z – indexu v daném měsíci, ale navíc zohledňuje i jeho hodnoty v období předešlém. Do výsledného PDSI se promítá stav vodní bilance v období 8 – 24 měsíců. Mezi oblasti nejvíce ohrožené výskytem sucha patří nivní půdy jižní Moravy a Polabí, kde je počet suchých epizod i délka jejich trvání největší. To je dáno relativně nízkými srážkami a vysokou potenciální evapotranspirací v obou oblastech. Při lokální interpretaci výsledků Palmerových indexu je třeba mít na paměti, že použité metody nezohledňují vliv podzemní vody, který může být významný (Atlas Podnebí Česka, 2007).

Index meteorologicky možného sucha (IMMS)

Index meteorologicky možného sucha je založen na integraci potencionálních deficitu vláhy ve vrstvě půdy 0 – 0,2 m za vegetační období (1. Duben – 30. Zář). Pro praktické účely použití v Česku byly hodnoty IMMS rozděleny do 9 tříd viz tabulka 1.

Tabulka 1 Stupnice sucha podle hodnoty IMMS, Zdroj: Atlas Podnebí Česka 2007

Třída	Rozsah vrstvy půdy (v m)	Hodnocení oblasti
1	0 -1,5	Mokrá
2	1,51 – 3,	Velmi vlhká
3	3,01 – 4,5	Vlhká
4	4,51 – 6,	Mírně vlhká
5	6,01 – 7,5	Vyrovnaná
6	7,51 – 9	Mírně suchá
7	9,01 – 10,5	Suchá
8	10,51 – 12	Velmi suchá
9	>12	Vyprahlá

2.2.2 Zemědělské sucho

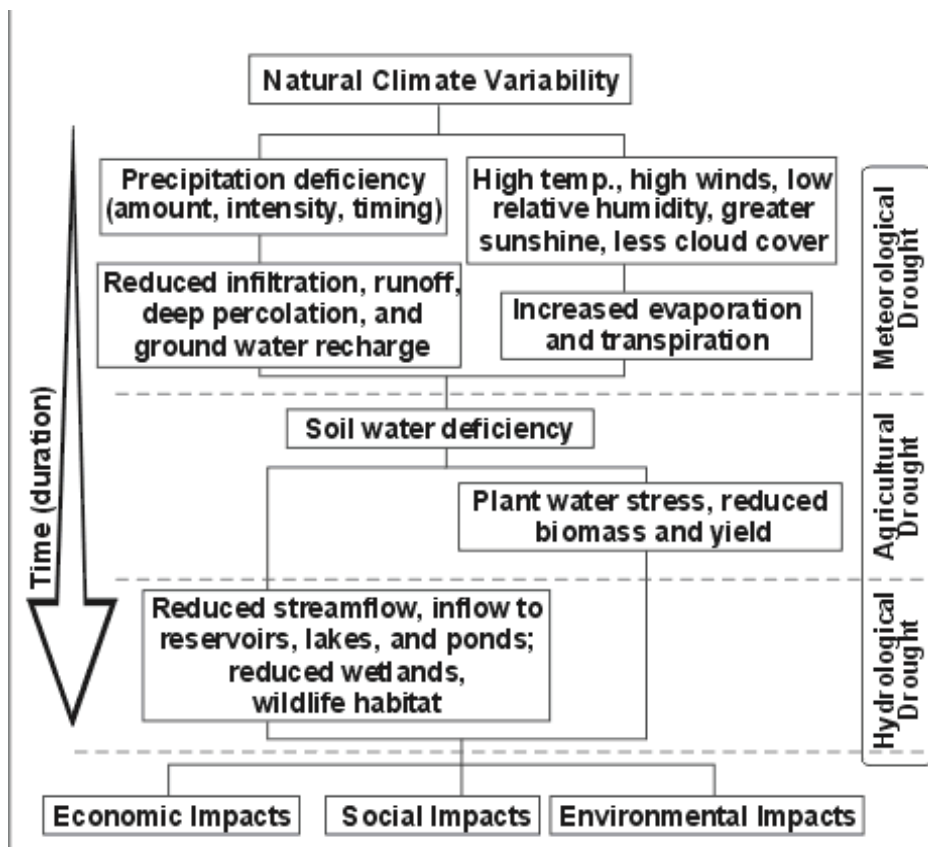
Zemědělství je prvním ekonomickým sektorem postiženým suchem. Zemědělské sucho nastává, když není dostatečně vlhká půda na to, aby úroda pokryla lidské požadavky v daném období. Nedostatek půdní vlhkosti vede k rychlému vyčerpání zbytkových zásob, pokud je doba deficitu vlhkosti spojená s vysokými teplotami a nepříznivými větrnými podmínkami. Zemědělské sucho je spojené s deficitem půdní vody, snížením podzemní vody a vše je spojeno s nedostatkem srážek. Důkladné definování zemědělského sucha by mělo zohlednit rozdílnou citlivost v různých fázích vývoje rostliny (National Weather Service, 2006, Blinka, 2004).

2.2.3 Hydrologické sucho

Hydrologické sucho se projevuje až za několik měsíců po zemědělském suchu. Nastává, když klesají zásoby povrchové a podzemní vody. Vysychají vodní rezervoáry, studně, prameny. Krátkodobé deště nestačí k doplnění zásob vody. Důsledkem hydrologického sucha jsou citelně postižená i jiná hospodářská odvětví jako výroba elektrické energie, ochrana před povodněmi, zavlažování, zásobování pitnou vodou, potřeby průmyslu a rekreační využití (National Weather Service, 2006, Blinka, 2004).

2.2.4 Socioekonomické sucho

Socioekonomické sucho nastává v období, kdy sucho značně ovlivňuje přímo existenci člověka (voda na příděl, nebezpečí požáru). Ve vyspělých zemích v důsledku socioekonomického sucha, vzrůstá poptávka po některém zboží (po nápojích) nebo službách. V chudých zemích je to snaha zachránit si svůj život. Ze začátku dochází např. k nadměrné pastvě a zvýšení eroze půdy, později k vynucenému vybití stád dobytka a to samozřejmě zhoršuje dopady a obavy z dalších období sucha v budoucnu (National Weather Service, 2006, Blinka, 2004).



Obr. 1 Průběh sucha a vztah mezi meteorologickým, zemědělským a hydrologickým suchem. Zroj: www.drought.unl.edu/whatis/concept.htm

Hospodářské, sociální a environmentální dopady jsou uvedeny ve spodní části obrázku, bez ohledu na časové měřítko, což naznačuje, že tyto dopady se mohou objevit v kterékoli fázi během období sucha (National Weather Service, 2006).

Projevy sucha se obvykle akumulují postupně a zpravidla nenápadně během relativně dlouhého období (týdne až měsíce). Jeho dopady např. v podobě snížené hladiny podzemní vody, mohou ale přetrvávat i velmi dlouho po skončení epizody. Např. v případě lesních porostů, byly v České republice značné škody suchem způsobeny v letech 1992 – 1994 (Brázdil, 1998), což se projevilo s jednoročním zpožděním na výraznějším nárůstu nahodilé těžby dřeva podmíněné tímto faktorem (Brázdil, Kirchner a kolektiv, 2007).

Sucho patří k průvodním jevům našeho klimatu a je jevem, s kterým je nutno počítat jak v zemědělské praxi, tak i ve vodním hospodářství a dalších odvětvích. Výraznost suchých období bývá různá od krátkodobého přisušku až po několikaměsíční či dokonce roční období s nízkými úhrny srážek. Následky sucha

mohou být rozdílné v závislosti na ročním období, v němž se sucho vyskytne, na sledované plodině a ve vývojovém stádiu, ve kterém se daná plodina nachází. Lze proto oprávněně předpokládat, že metody hodnocení výraznosti sucha budou rozdílné a jejich výstupy se mohou navzájem lišit (Rožnovský a Janouš, 2001).

Povětrnostní jevy se vyskytují náhle a mají kratší dobu trvání než sucho, které je zákeřnější. Sucho je přirozený jev a musíme s ním počítat. Sucho může skončit za několik měsíců postupným návratem k normálním srážkovým úhrnům, ale také může skončit příchodem vydatných srážek, které způsobí povodně (Burroughs a kolektiv, 1999).

2.3 Příčiny sucha

Jak vzniká sucho? Z povrchu oceánů, zvláště tak velkých jako je Atlantický oceán, který se prostírá mezi Evropou a Amerikou, se vypařuje velké množství vody. Vodní páry stoupají do vyšších vrstev atmosféry a vytvářejí tam oblačnost. Západní a hlavně jihozápadní vítr žene tyto mraky na východ a severovýchod. Mraky sebou strhují nové a nové masy vodních par a nasycují se stále více vodou, dosahují břehů západní Evropy. Vlhký vzduch, který proudí z teplých zemí, se cestou ochlazuje. Čím je vzduch teplejší, tím více vláhy může pojmout, čím je studenější tím méně. Proto při ochlazení teplého vlhkého vzduchu vytváří přebytek vláhy, která pak klesá k zemi jako déšť. Zvláště nápadně se to projevuje na podzim, kdy se den krátí. Země vychládá a vzduch nad ní se ochlazuje. Nejvíce srážek je v přímořských oblastech, kde vzduch odevzdá nejvíce vláhy a stává se tím sušší a srážek ubývá. Ke vzniku sucha ve střední Evropě dochází na rozdíl od stálého, popř. sezonního sucha v jiných klimatických pásmech kvůli nerovnoměrnému výskytu anticyklonálních a cyklonálních povětrnostních situací.

Nad územím ČR se často vytvářejí mohutnější tlakové výše, které zabraňují postupu frontálních systémů, které k nám přichází z Atlantického oceánu nebo ze Středozemního moře. Intenzita srážek při přechodu těchto atmosférických front bývá v oblastech vyššího tlaku podstatně zeslabována (Maksinov, 1950). Extrémně nízké měsíční úhrny srážek na území ČR souvisejí s izolovanými, v mnoha případech blokujícími anticyklonami nebo s protaženými hřebeny vysokého tlaku vzduchu, jejichž středy popř. osy neleží dále než asi 1500 km od středu ČR. Pokud nejde o centrální části anticyklon, pro výskyt sucha je důležitý směr proudění, způsobujícího

advekci relativně suchého vzduchu (Brázdil a Štekl, 1986).

Příčiny vzniku sucha můžeme rozdělit na přirozené a antropogenní. Mezi přirozené příčiny patří procesy v atmosféře. Příčiny sucha vyvolané zásahem člověka do krajiny mohou být na lokální či na globální úrovni. Za globální příčinu se označuje například skleníkový efekt nebo globální stmívání.

2.4 Prognóza výskytu sucha v České republice do roku 2050

Sucho je nejkompexnější a nejméně probádanou přírodní hrozbou, která ovlivňuje větší část populace než jiné hydrometeorologické či klimatické extrémy. V souvislosti s procesem globálního oteplování a možnou klimatickou změnou je prognózován vzrůst frekvence výskytu všech extrémních událostí i zesílení jejich intenzity. Sucho významně ovlivňuje stav půdy. Jedním z dostupných nástrojů, které jsou schopny popsat a zařadit půdu do kategorií vlhkostních a teplotních režimů je modifikovaný Newhallův simulační model (NSM2). Jeho pomocí byl analyzován současný stav ohrožení území České republiky suchem a byla provedena i kvalifikace vlivu klimatické změny na výskyt sucha do roku 2050 (Kapler a kolektiv, 2006).

Výskyt sucha ovlivňuje růst a vývoj rostlin a je úzce vázán na obsah půdní vlhkosti. Modifikovaný Newhallův simulační model (NSM2) umožňuje zjistit roční vlhkostně teplotní režim půdy a odhadnout možnost opakování krátkodobého výskytu rozličných hydrických režimů. Pracuje v ročním chodu tak i v ucelených klimatických periodách a může odhalit změny půdního klimatu v minulosti i v budoucnosti. Pomocí modifikovaného Newhallova simulačního modelu (NSM2) byla provedena prostorová analýza území České republiky pro současné a očekávané podmínky se zaměřením na výskyt hydrotermických půdně klimatických režimů definovaných půdní klasifikací Ministerstva zemědělství Spojených států amerických. Bylo zjištěno, že za současných podmínek, spadá 1,7% rozlohy ČR do oblasti, kterou můžeme pokládat za trvale ohroženou výskytem sucha a tou je jižní Morava. Bude-li emise skleníkových plynů narůstat, lze očekávat výraznější změny půdního klimatu a další rozšíření oblasti s výskytem sucha. Na jižní Moravě a Polabí může také docházet ke zvýšené větrné erozi a vyšší potřebě závlah, což může vést k akumulaci solí v povrchové vrstvě půdního profilu (Kapler a kolektiv 2006).

Sucho lze také označit termínem „plíživý extrémní jev“, který sice nebývá doprovázen náhlými dramatickými a mediálně atraktivními situacemi, ale který může způsobit rozsáhlé a často neodvratitelné ekonomické škody. Je nepochybné, že s epizodami sucha je třeba počítat i v budoucnu, a že s ohledem na probíhající klimatickou změnu může dojít ke zvýšení jejich četnosti a intenzity, spojené s nárůstem způsobených škod (Brázdil, Kirchner a kolektiv, 2007).

Paradoxem je i to, že půda částečně nasycená vodou je schopná absorbovat další vodu líp než půda suchá. Když spadnou srážky na zhutněnou a přesušenou půdu, vsakování do hlubších vrstev nastane až o několik desítek minut později. V prvních minutách se půda chová jako nepropustný povrch. Při extrémních srážkách tak nastává rychlý odtok do koryt toku. Ta samá srážka, kterou by krajina zdravě nasycená vodou lehce absorbovala, mění v přesušené krajině řeky a bystřiny na dravé řeky, kde vznikají extrémní průtoky a povodňové situace. To znamená, že povrch bez možnosti odpařovat vodu vytváří nejen příznivé podmínky na vznik extrémních projevů počasí, ale stupňuje i jejich následky (Kravčík a kolektiv 2007).

Dlouhodobé sucho spouští spirálu desertifikace, tj. přeměny na polopoušť nebo poušť. Toto můžeme chápat jako úplně odvodněnou část kontinentu. Vodou nasycená půda a vegetace hrají důležitou úlohu v koloběhu vody na souši. Funkční vegetace plní funkci ventilu mezi půdou a atmosférou. Chrání půdu před přílišným přehříváním, a tím i vysoušením a optimalizuje množství výparu vody pomocí transpirace množstvím průduchů na listech (Kravčík a kolektiv 2007).

Oběh vody v přírodě se uskutečňuje přes velký a malý vodní cyklus. Člověk svojí činností a systematickým přetvářením přírodní krajiny na kulturní krajinu urychluje odtok dešťové vody z území. Omezením výparu a vsaku vody do půdy se zužuje dotace vody do malého vodního cyklu. Narušuje se rovnováha vodní bilance v malém vodním cyklu a postupně dochází k jeho rozpadu nad územím (Kravčík a kolektiv 2007). Velký vodní cyklus je vlastně výměna vody mezi oceánem a pevninou. Malý vodní cyklus je uzavřený koloběh vody, při kterém voda vypařená na pevnině spadne v podobě srážek nad stejným pevninským prostředím. Obrovské toky sluneční energie, se při nedostatku vody v půdě na povrchu a v rostlinách nemohou transformovat do skupenského tepla vypařování vody, ale mění se na pocitové teplo. Povrch území se pořád víc a víc přehřívá a také vznikají i poruchy dotace vody z velkého vodního cyklu nad takto poškozeným územím. S rozpadem malého vodního cyklu narůstají extrémy v počasí a nastává postupný pokles zásob

podzemních vod, častější povodně, prodlužování období sucha a prohlubování nedostatku vody v území (Kravčík a kolektiv 2007).

Sucho má pro národní hospodářství mimořádný význam z hlediska časového období delšího než týden. Tato období s podnormálními srážkovými úhrny jsou převážně spojená s příznivými podmínkami pro zvýšený výpar a tedy s dalším úbytkem půdní vlhkosti. Svým rozsahem postiženého území a charakterem účinku způsobují suchá období v zemědělství kalamitní ztráty, jako to bylo v roce 1947 a v mírnější formě v roce 1976 (Brázdil a Štekl, 1986).

2.5. Dopady sucha

Dopady sucha jsou stále aktuální v rozvojových i rozvinutých zemích, což v mnoha případech odráží neudržitelnost rozvoje a růstu populace. Zmínění dopadu sucha v budoucnu bude vyžadovat celou škálu vhodných opatření a programu ke zmírnění rizik a zavedení lepších způsobů monitorování a systémů včasného varování. Dopady sucha lze rozdělit do tří skupin: ekonomické, environmentální a sociální.

2.5.1 Ekonomické dopady sucha

Ekonomické dopady sucha jsou různorodé a často se projevují přes ekonomiku. Jsou přímé a nepřímé. Přímým důsledkem sucha je ztráta výnosů, která znamená ztrátu příjmů a v krajních případech zadlužení a likvidaci farmy. Zemědělci nechtějí nést dopady sucha sami a žádají úhradu ztrát po pojišťovnách nebo po státu v podobě programu vládní pomoci. Ekonomické dopady sucha postihují citelně odvětví primárního sektoru – lesnictví a rybářství (Trnka, 2000).

Nepřímé ekonomické dopady jsou následkem přímých dopadů jako např. zvýšení ceny dřeva a jídla. Mohou také zahrnovat další ekonomické dopady jako vzrůst nezaměstnanosti a ztráty příjmu a snižování státního rozpočtu a také snížený výnos z turistiky a rekreace (Trnka, 2000).

2.5.2 Environmentální dopady sucha

Environmentální dopady sucha jsou z hlediska degradace krajiny příčinou rozsáhlých lesních požárů, půdní eroze a ohrožují biodiverzitu na všech úrovních. Způsobují například změnu vlastností stanovišť a změny v kvalitě vody a vzduchu (Trnka, 2000). Tyto ztráty se obtížně vyčíslují, ale rostoucí povědomí veřejnosti a zájem o životní prostředí nutí veřejnost se zaměřit na problémy tykající se dlouhotrvajícího sucha.

2.5.3 Sociální dopady sucha

Sociální dopady sucha zahrnují hlavně veřejnou bezpečnost, ochranu zdraví, možné konflikty mezi vlastníky a uživateli vodních zdrojů, sníženou kvalitu života, vzrůst chudoby, migraci lidí apod. (Trnka, 2000).

V období sucha může docházet k popraskání půdy a až k desertifikaci krajiny (Brázdil a Štekl, 1986).

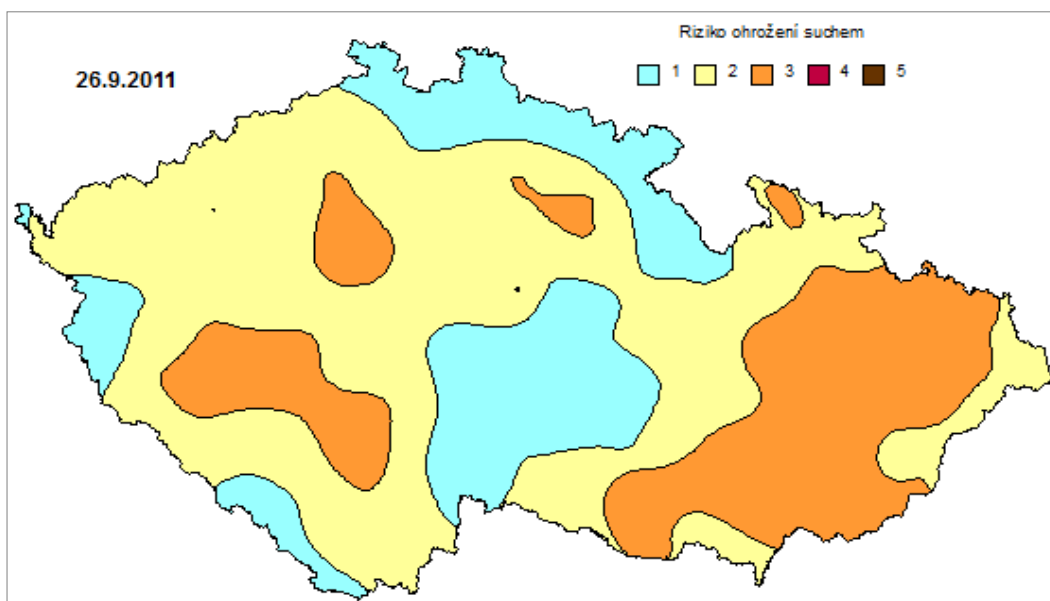


Obr. 2 Popraskaná půda vlivem sucha Foto © 2009 Martin Loew, www.promitani.cz.

2.6 Riziko ohrožení zemědělským suchem, které monitoruje Český hydrometeorologický ústav

V ČR monitoruje sucho Český hydrometeorologický ústav. Pro monitoring sucha využívá celou řadu metod. Mezi neznámější patří PDSI (Palmer Drought Severity Index) a SPI (Standardized Precipitation Index), počítají se jednou za měsíc, ale výpočet je možné provádět i častěji. V rámci monitoringu sucha využívá ČHMÚ vláhové bilance, které se počítají ze standardních meteorologických dat nejčastěji z průměrné vlhkosti půdy v profilu 0 až 60 cm. Přímá měření půdní vlhkosti jsou velmi pracná, a proto jsou využívané metody nepřímé. Ke známým metodám patří TDR (time domain reflectometry), která je založená na měření postupové rychlosti elektromagnetické vlny o vysoké frekvenci podél dvou až tří transmisních tyčí vtačených rovnoběžně do půdy. Tato metoda je přesná a spolehlivá, ale je drahá a náročná na kvalifikovanou obsluhu a vyhodnocení. ČHMÚ zvolil metodu lacinější a to metodu TDT (time domain transmissometry). Tato metoda je založená na změnách fázové rychlosti šíření elektromagnetického signálu v závislosti na objemové vlhkosti měřeného TDT materiálu. Objemová vlhkost je monitorována na 38 stanicích ve třech vrstvách: 0 – 10 cm, 10 – 50 a 50 – 90 cm snímači VIRRIB, které jsou připojeny k automatizovaným měřícím systémům. Půdní vlhkost se stala důležitou veličinou pro monitoring sucha (Možný a Bareš, 2006).

ČHMÚ pro území ČR vymezuje pět stupňů ohrožení suchem: 1 - malé, 2 - mírné, 3 - středně velké, 4 - velké, 5 - nejvyšší. Čím je tento stupeň vyšší, tím je vyšší riziko ohrožení suchem. Výsledná mapa vzniká kompilací výsledků získaných ze tří metod hodnocení sucha: měřené vlhkosti půdy, vypočtené vláhové bilance a vypočtené bilance srážek a evapotranspirace. Aktualizace výsledné mapy se provádí 1x týdně v úterý.



Obr. 3 Mapa ČR při hodnocení sucha

Riziko: 1 - malé, 2 - mírné, 3 - středně velké, 4 - velké, 5 – nejvyšší. Zdroj: www.chmu.cz

Sucho je extrém, který přichází nenápadně a některé jeho důsledky se projeví až za dlouho. Pozvolně klesá množství vláhy v hlubších vrstvách půdy, postupně klesá hladina v řekách a po běžném dešti se nemusí hned zvýšit. Před povodní utečeme, ale před suchem nikoliv. Naše Země netrpí extrémním suchem často, protože klima u nás je mírné. Může se to měnit vlivem klimatických změn. Důležité je zacházet s vodou šetrně a zadržovat ji v krajině (Kravčík a kolektiv, 2007).

Všechny živé organismy včetně rostlin potřebují odpovídající množství vody, aby jejich růst a přežití nebyl ohrožen. Voda v rostlinách umožňuje životně důležité procesy, jako je fotosyntéza, dýchání a využití živin, ovlivňuje termoregulaci (chrání rostlinu před prudkými teplotními změnami) a umožňuje šíření plodů (Larcher, 1988).

2.7. Vodní bilance rostlin

Vodní bilance představuje určitý poměr mezi příjmem a výdejem vody. Většina vyšších rostlin absorbuje vodu z půdy přes kořeny, která je pak přenesená do stonků, listů, květů a podporuje životně důležité pochody. Rostliny přijímají vodu dvěma způsoby (Larcher, 1988):

- Apoplastickou cestou (pasivně) – jenom buněčnými stěnami a volnými mezibuněčnými stěnami bez spotřeby energie
- Symplastickou cestou (aktivně) – přes membrány a cytoplazmu z buňky do buňky za spotřeby energie

Příjem vody rostlinou je ovlivněn (Larcher, 1988):

- Teplotou půdy
- Intenzitou transpirace
- Složením půdního roztoku
- Kyslíkem v půdě a jeho obsahem

Vodní bilanci můžeme dát do rovnice (Larcher, 1988):

Vodní bilance = absorpce vody – transpirace.

Rovnovážnou vodní bilanci si rostlina udrží jen tehdy, když se rychlost příjmu a výdeje vody vzájemně vyrovnávají. Vodní bilance v období sucha je stav, kdy klesá množství vody v půdě a rostlina trpí nedostatkem vody. V oblastech, kde je roční výpar vyšší než roční srážky, vzniká sucho pravidelně a dlouhodobě. Podnebí je označováno jako aridní. V oblastech, kde je nadbytek srážek podnebí, je označováno jako humidní. Pokud nastane období sucha a vyčerpají se zásoby vody v půdě, vodní bilance rostlin se postupně zhoršuje. Rostliny v takové situaci snižují svoji spotřebu vody tím, že průduchy otevírají méně a na kratší dobu. Nejdříve se transpirace snižuje v poledne, potom v odpoledních hodinách a nakonec se průduchy otevírají jen ráno. V době, kdy mají rostliny ještě dostatek vody, zastavuje se stomatární transpirace a rostliny transpirují kutikulárně (Procházka, 1998, Larcher, 1988).

Období sucha a nedostatek vody pro rostlinu může nastat i v zimě, kdy rostlina nedokáže přijímat srážky v pevné formě. Rostliny mohou být poškozené, pokud dlouhotrvající mrazy brání opětovnému doplnění vodních zásob (Larcher, 1988).

2.7.1 Odolnost rostlin vůči suchu

Odolnost vůči suchu je vlastně schopnost rostlin přežít jakýmkoliv způsobem. Tato schopnost je komplexní vlastností. Extrémní zátěže způsobené suchem jsou tím větší, čím déle může rostlina zadržovat nebezpečné snížení vodního potenciálu protoplazmy. Odolnost rostlin proti suchu je rozdílná a závisí na schopnosti rostliny. Cévnaté rostliny snášejí vysušení velmi málo, takže rozdíl v odolnosti vůči suchu jsou u nich dány hlavně rozdílnou schopností vyhnout se vysušení. Rostliny vyhýbající se suchu nejsou zpravidla vůči suchu odolné (Larcher, 1988).

Xerofyty

Období sucha xerofyty překonávají pomocí načasované tvorby semen odolných vůči vysušení nebo orgánům dobře chráněných proti vyschnutí (Larcher, 1988).

Tabulka č.2 Přehled způsobu přežívání rostlin v suchých oblastech. Zdroj: Fyziologická ekologie rostlin, Walter Larcher, 1988

XEROFYTY		
Citlivé na suchu	Odolné vůči suchu	
VYHÝBAJÍCÍ SE SUCHU	PŘEDCHÁZEJÍCÍ VYSCHNUTÍ (ARIDOAKTIVNÍ)	SNÁŠEJÍCÍ VYSCHNUTÍ (ARIDOTOLERANTNÍ)
Pluvioterofyty Gerofyty	Zvýšeným příjmem vody	Poikilohydrické druhy a stadia dormantní v době sucha
	Účinným vedením vody	
	Omezováním transpirace	
	Zásobami vody	

Pluvioterofyty

Žijí krátce a jedná se o cévnaté rostliny, které klíčí po vydatných srážkách a vývojové cykly rychle uzavírají. Období sucha přečkávají jako semena, které nejsou poškozena vysušením (Larcher, 1988).

Geofyty

Geofyty mají vodou dobře zásobeny podvodní orgány a mohou přežívat období sucha. Půda je vlastně chrání proti ztrátě vody (Larcher, 1988).

2.7.2. Schopnost rostlin oddálit vysušení

Vysušení se oddaluje všemi mechanismy, které umožňují rostlinám udržovat vodu ve tkáních tak dlouho, jak to je jen možné a bránit se suchosti vzduchu a půdy. Rostliny mohou dosáhnout zlepšení příjmu vody z půdy vytvářením zásob vody v pletivech. Tyto stránky chování rostlin se také odrážejí v morfologii. Příjem vody rozsáhlými kořenovými systémy s velkou plochou aktivního povrchu se zvyšuje rychlým růstem kořenů v hlubších vrstvách půdy, kde dosahují ještě vlhkých horizontů, odkud mohou rostliny vodu nějaký čas čerpat. Rostliny s rozsáhlými kořenovými systémy (především dřeviny) rostoucí na mělkých půdách jsou proto suchem zvláště ohroženy. Situace může být kritická, pokud rostliny již nemají prostor pro další rozšiřování kořenových systémů (Larcher, 1988, Procházka, 2002).

V humidních oblastech jsou pro takové účely vhodné jen rostliny odolné vůči suchu, protože dokážou hospodařit i s malým množstvím vody obsažené v omezeném objemu půdy. Nadzemní části rostlin se chrání vůči suchu tím, že uzavírají průduchy. Je to ochrana proti zvýšené transpiraci. V pletivech se zvýší hladina kyseliny abscisové a tím se zvyšuje pohotovost průduchu k uzavírání.

Při nedostatku vody se vyvíjejí menší, ale hustěji uspořádané průduchy na listech. Takové listy snižují transpiraci rychleji, protože malé průduchy reagují citlivěji (Šebánek a kolektiv 1989, Larcher, 1988).

Listy, které se vytvářejí při nedostatečném zásobování vodou, jsou menší, drobnější, nebo jsou mělce dělené a mají menší specifickou listovou plochu. Schopnost snášet vysušení je dána druhově specifickou a adaptabilní schopností protoplazmy snášet velkou ztrátu vody. Nedostatek vody způsobí ztrátu turgoru protoplazmy a zvýšení koncentrace buněčné šťávy. Naruší se buněčné funkce, dále se objevují poruchy životních funkcí rostlin a nakonec se poškozují protoplazmatické struktury. U stélkatých rostlin se mohou najít i druhy, které snášejí úplné vysušení. Jsou to například bakterie, sinice, lišejníky, které mohou setrvat v suchém stavu dny, měsíce, roky a poté znovu obnovit svou aktivitu jakmile jsou navlhčeny. Některé z nich mohou dokonce přežít i několik týdnů ve vzduchu absolutně vysušeném

koncentrovanou kyselinou sírovou nebo oxidem fosforečným. Úplné vysušení snášejí také mycelia některých hub, různé mechy a některé kaprad'orosty. Ale samozřejmě máme i některé druhy, které jsou k vysušení velice citlivé, protože jejich protoplazma je ke ztrátě vody mimořádně citlivá a odumírá již při slabém snížení obsahu vody (Larcher, 1988).

Kořeny těchto rostlin jsou k vysychání citlivější, ale pupeny jsou odolnější. Ve vegetačním období jsou buňky k vysušení zvláště citlivé, ale v období klidu jsou poněkud odolnější. Jsou to rostliny, které jsou stále pod vodou. Tyto rostliny mohou sloužit jako indikátory vlhkosti stanoviště. Může se stát, že sucho je natolik velké, že rostliny již nemohou vodu z půdy získat. Odolnost rostlin vůči vysychání při úplném zastavení příjmu vody označujeme jako specifickou dobu přežití. Ta je závislá především na množství vody, které mohou rostlinné druhy uložit ve svých prýtech (Larcher, 1988).

Specifická doba přežití se počítá z rychlosti kutikulární transpirace (E_c) a množství dostupné vody (W_{av}) v těle rostliny. Je to vlastně voda, kterou může rostlina spotřebovat od doby uzavření průduchu do doby, kdy už se objeví první známky poškození vysušením.

$$\text{Specifická doba přežití} = W_{av} / E_c$$

Specifická doba přežití se měří v hodinách nebo dnech a udává nám, jak dlouho po uzavření průduchu mohou zůstat rostliny nepoškozeny bez příjmu vody.

V dlouhých obdobích sucha je významná voda pro rostliny, která je uložena v masivních orgánech (větve, kmeny stromů, podzimní zásobní orgány, byliny) (Larcher, 1988).

2.7.3 Index relativního sucha

Schopnost rostlin přežít v podmínkách suchých stanovišť je různá a nezávisí pouze na odolnosti rostlin vůči suchu, ale také na podmínkách, které na stanovišti převládají. Odolnost rostlin vůči suchu a podmínky na stanovišti jsou faktory, které zahrnujeme do indexu relativního sucha. Tento index je vyjádřen v procentech a je to poměr velikosti aktuálního vodního sytostního deficitu rostliny (VSD_{akt}) měřeného v daném čase na stanovišti k velikosti kritického vodního sytostního deficitu (VSD_{krit}) sledovaného druhu (Larcher, 1988).

$$\text{Index relativního sucha} = \frac{WSD_{akt}}{WSD_{krit}} * 100$$

Pro posouzení možného přežívání rostlin v podmínkách vodního deficitu jsou specifická doba přežití a index relativního sucha užitečné. U specifické doby přežití se určuje pravděpodobnost, kdy daná rostlina přežije nějaké období sucha. Protože účinky sucha závisí i na jeho trvání. Index relativního sucha nám poskytne informace o stanovištních rozdílech, při srovnávání několika jedinců téhož druhu navzájem, na různých stanovištích. V rozdílech se odráží různost vodních zásob v půdě a v místních podmínkách pro výpar (Larcher, 1988). V suchých oblastech se zásoby vody v půdě vytvářejí v období dešťů a může často trvat i celé týdny než se převlhčí i hlubší vrstva půdy.

2.7.4 Vodní sytostní deficit

Vodní sytostní deficit (VSD) je množství vody, které chybí rostlině do plného nasycení. Udává se v procentech maximálního obsahu vody. Na výpočet vodního sytostního deficitu se používá rovnice (Larcher, 1988):

$$VSD(\%) = (\text{hmot.po nasyc.vod.-čerstvá hm.}) / (\text{hmot.po nasyc.vod.-suchá hm.}) * 100$$

Stanovení plného nasycení je obtížné, protože rostlina po malé ztrátě vody a jejím dodání obnovuje barvu a turgor (turgor je tlak, který zajišťuje pevnost rostliny). Při větší ztrátě vody odumírají některé části listu a při velké ztrátě vody nastává úplné vadnutí.

Vodní deficit rozdělujeme do třech skupin podle ohrožení rostliny (Larcher, 1988):

- Kritický vodní deficit – je deficit, kdy rostliny mohou a jsou schopny získat plné nasycení bez poškození
- Subletální deficit – je deficit, kde nastávají první příznaky poškození

- Letální vodní deficit – je deficit, kde dochází k trvalému poškození a rostliny už nejsou schopny se dosytit na původní hmotnost

Vodní deficit ovlivňuje všechny metabolické a fyziologické procesy (Šebánek a kolektiv 1989).



Obr. 3 Stav vysušení při nedostatku vody v porostu kukuřice.

Zdroj: www.profimedia.cz/fotografie/nedostatek-vody-susene-rostliny

Pokud je vody nedostatek, rostlina může trpět vodním stresem, který může ohrozit růst, produkci, reprodukci a přežití. Sucho je vlastně faktor, který vyvolává stres rostlin (Havlíček a kolektiv, 1986).

2.7.5 Vodní stres rostlin

Vodní stres rostlin je komplexní fyziologická reakce k omezené dostupnosti vody pro rostliny. Vzniká při jakékoliv nerovnováze ve vodní bilanci rostlin, kdy rychlost transpirace je vyšší než rychlost absorpce vody. Signálem vodního stresu může být snížený vodní potenciál a jeho komponenty osmotický potenciál, zvýšená koncentrace rozpuštěných látek, zmenšený objem buněk, změna napětí na membráně, změna hydratačního obalu (D'Odorico a Porporato, 2006).

Vodní deficit může působit přímo nebo zprostředkovaně. Vodní deficit je ztráta - to co chybí. Vodní deficit je množství vody, které rostlině schází do úplného

nasycení jejích pletiv. Při vodním deficitu rostlina vadne a po překročení určité hranice hyne. Pokud nejsou poškozena pletiva, zvadlá rostlina po doplnění potřebného množství vody zaujme svůj původní tvar. Vodní deficit ovlivňuje všechny pochody v rostlinách a způsobuje:

1. Zpomalení dlouhivého růstu buněk
2. Redukuje růst nadzemních částí rostlin, stimuluje růst podzemních orgánů
3. Urychluje stárnutí
4. Tvorbu stresových proteinů
5. Hromadí se osmotické aktivní látky v pletivech (cukru a cukerných alkoholů, prolinu)
6. Tvorbu a odstraňování reaktivních forem kyslíku
7. Inhibici fotosyntézy, zpomalení translokace asimilátu z listu
8. Ovlivnění aktivity enzymů
9. Změny v biosyntéze, katabolizmu některých fytohormonů
10. Změny v příjmu a transportu iontů

Pro rostlinu je důležité nejenom přežití stresu a co nejmenší poškození během stresu, ale i rychlá obnova všech procesů při rehydrataci. Voda v rostlině je obvykle vyjádřená v podmínkách vodního potenciálu. Vodní potenciál se běžně hodnotí měřením před svítáním z listu. Měřením se přímo zhodnotí stav vody v rostlině. Pochopení fyziologie rostlin vystavených environmentálním tlakům může být velmi náročné, protože odpovědi pocházejí z různých faktorů. Aby se lépe porozumělo fyziologické reakci rostlin na sucho, většina experimentů byla prováděná v laboratoři za kontrolovaných podmínek, se snahou udržet bez omezení podmínky pro všechny faktory životního prostředí, kromě dostupnosti vody. Sucho je meteorologický termín, který označuje dlouhé období, kdy není dostatek deště pro úspěšné pěstování plodin nebo doplňování zásob vody. Výraz vodní stres se často používá pro označení komplexní řady efektů, které jsou spuštěny v rostlinách suchem (D'Odorico a Porporato, 2006).

Definice vodního stresu suchem a vodní deficit jsou často zaměňovány. Sucho vede k deficitu vody v půdě a ve tkáních rostlin, které pak mění fyziologické procesy a může mít maximální dopad na růst, vývoj a přežití rostlin. Oba výrazy naznačují zvýšení tolerance a jsou někdy nesprávně zaměňované. Rozdíl je v příčině zvýšené tolerance: aklimatizování rostlin je výsledkem předchozího stavu stresu, zatímco u adaptované rostliny je tolerance stanovená v genomu, který se vyvíjel po

mnoho generací. Na základě mechanismů adaptací na dostupnost vody v půdě a jejich požadavků na vodu, jsou rostliny rozděleny do tří obecných skupin. Hydrofilní /vodomilné/ rostliny vyžadují dostatek vody a kvetou tam, kde je voda téměř vždy přítomná. Mezofytní rostliny jsou rostliny přizpůsobené na klimatické podmínky (většina pěstovaných plodin). Xerofilní (Suchomilné) mohou přežít delší suché půdní podmínky (D'Odorico a Porporato, 2006).

Vodní stres rostlin vzniká také nízkým obsahem vlhkosti půdy. Nedostatek srážek a také zvýšená evapotranspirace je u každé plodiny různá a závisí na tom, v jaké vývojové fázi se rostliny nachází. Důležitá je hloubka kořenového systému a retenční schopnost půdy, což je důležité pro hospodaření se srážkami.

Sucho se vůbec nemusí projevit u raných plodin s hlubším kořenovým systémem, které čerpají zimní zásobu vláhy, kdežto plodiny s dlouhou vegetační dobou mohou být postižené mnohem více. V našich klimatických podmínkách v průběhu vegetačního období se vyskytují srážkové periody, které mají za následek zvyšování zásoby vláhy ve vrchních vrstvách půdy, které mohou konkrétní rostlině pomoci překonat kritické období buď předchozího, nebo následného nedostatku srážek. Účinná obrana proti vodnímu stresu je závlahová dávka, která nám upravuje závlahový režim v půdě. Tato metoda je vhodná na zvýšené transpirační a evapotranspirační nároky, které jsou způsobené vyšší vysušeností okolní atmosféry a ovlivňují nároky jednotlivých rostlin na vláhu, půdní vlhkost či zásobu vláhy v půdě z minulého období (Havlíček a kolektiv, 1986).

2.7.6 Vláhový deficit rostlin

Nedostatek srážek snižuje výnosy v oblastech subhumidního klimatu, kam patří také část produkčních oblastí našeho státu a to zvláště na jihu. V řízení závlahových režimů se ve světě používá řada empirických metod, uplatňujících agrometeorologické podklady. Vychází se z vláhové bilance, radiační bilance, z příjmových položek jako jsou množství srážek, obsah vody v půdě, hloubka a množství vody dále z položek výdajových jako je evapotranspirace, ztráty povrchovým odtokem a průsakem. Rovněž se provádějí do výpočtu data, týkající se fázových stavů vegetace (Havlíček a kolektiv, 1986).

Vláhový deficit se počítá z upravené rovnice půdní vláhové bilance. Velikost potenciálního vláhového deficitu na konci daného dne by měla být rovna deficitu

předchozího dne. Výsledek je vlastně vyjádření výšky vody v milimetrech. Pokud je výsledná hodnota záporná, je potenciální vláhový deficit rovný nule. Důležitá je hloubka zakořenění jednotlivých plodin a listové pokrytí – zapojení porostu. Celkové využitelné množství vláhy bereme v úvahu pouze tehdy, pokud je známá půdní vláha z hlubších vrstev. Při výpočtu potenciálního deficitu počítáme také s výdejovou složkou potenciální evapotranspirace. Dalším problémem při měření bývá nedostatek vstupních hodnot (veličin). Některé z těchto veličin je však možné zjistit na meteorologických stanicích. Pomocnou informací v závlahových programech je kritický vláhový deficit, jehož působení je ovlivněné vlastností půdy. Jinak působí na půdy střední či těžké, a jinak na půdy lehké. Pokud skutečný vláhový deficit přesáhne hodnotu kritického deficitu, porost sníží výdej vody přivíráním průduchu. V tomto případě se sníží tvorba biomasy (Havlíček a kolektiv, 1986).

3. Dálkový průzkum Země

K monitorování a hodnocení sucha se využívají různé metody, mezi které patří i dálkový průzkum Země. Dálkový průzkum Země je metoda pozorování a vyhodnocování získaných informací.

Definic dálkového průzkumu Země je mnoho jako definic sucha. Každá vystihuje jedno, že dálkový průzkum Země znamená získávání informací o objektech a jevech na dálku bez přímého kontaktu.

Definice dálkového průzkumu Země:

- *Dálkový průzkum Země (DPZ) je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízeních, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu (Lillesand, Kiefer, 1994).*
- *Dálkový průzkum je shromažďování informací o přírodních zdrojích s využitím snímků pořizovaných senzory umístěnými na palubách letadel nebo družic (Ryerson, CCRS).*
- *Dálkový průzkum je způsob získávání informací o zemském povrchu i vodních plochách s využitím snímků pořízených z ptáčí perspektivy. Využívá elektromagnetického záření v jednom nebo více intervalech spektra a toto záření je odraženo nebo emitováno ze zemského povrchu (Campbell 1996).*

Dálkový průzkum Země je jedna z nejmodernějších disciplín technologie a jde o zkoumání zemského povrchu, ale i dolních vrstev atmosféry. Je to systém, který je složen ze dvou subsystémů:

- Subsystém sběru a přenosu dat
- Subsystém jejich analýzy a interpretace

První subsystém je hlavně technická stránka a v jeho druhé části, jde hlavně o metodu zpracování informací. Data, která jsou pořízená snímáním, nacházejí uplatnění v různých odvětvích. Obrazové materiály zpracované z letadla nebo družice, které zaznamenávají prostorovou informaci, obsahují také snímky zemského povrchu a poskytují dva druhy informací. Prvním druhem je informace o poloze objektu, tvar a velikost. Druhým typem je informace např. o vegetaci na dané

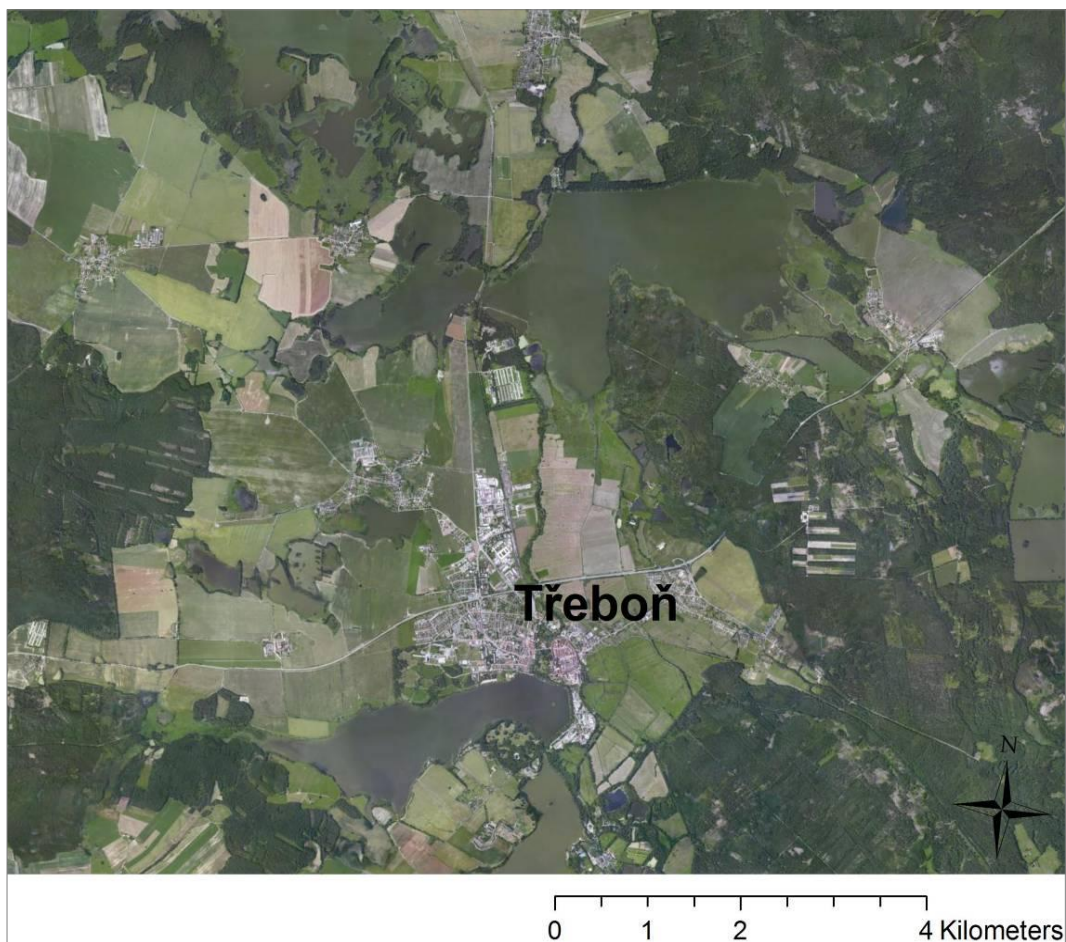
ploše. Dálkový průzkum Země je věda či umění, která se zabývá tematickou informací, vytvořením a zpracováním určité obrazové informace pro tematické mapování. Další předností využití dálkového průzkumu Země je také informace kterou volným okem nevidíme jako je např. zdravotní kondice vegetačního krytu porostu. Snímky z letadel nebo družic mohou v mnoha případech nahrazovat mapy, protože v krátké době zachytí více detailu. Snímky je možné pořizovat relativně často a dávají nám obraz i o dynamice krajiny. Snímek z letadla nebo z družice ještě není možné použít, jako mapa musí projít úpravou, protože obsahuje řadu zkreslení, které je potřeba odstranit (Dobrovolný, 1998).

3.1. Rozdělení metod Dálkového průzkumu Země

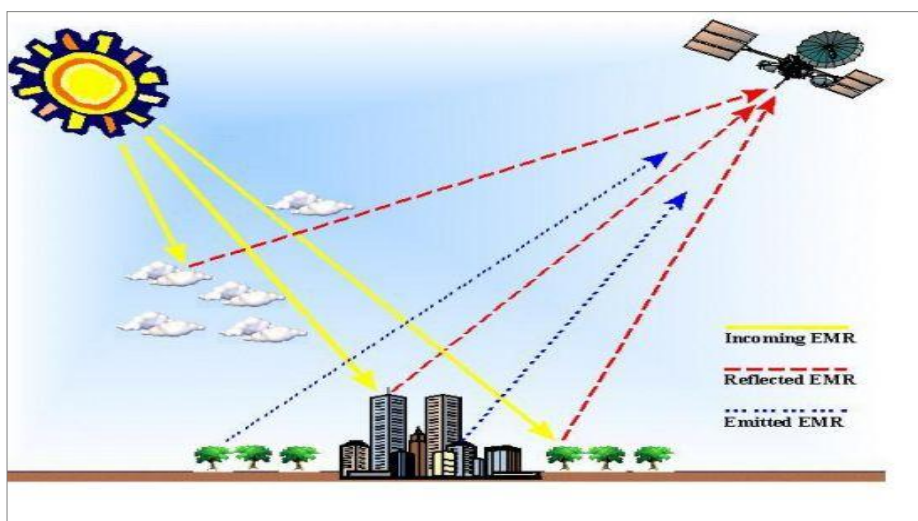
Dálkový průzkum Země podle sběru dat dělíme na dvě části.

1. Klasická metoda konvenční. Data se získávají fotografickým snímkováním a jsou interpretována v analogové formě.
2. Nekonvenční metoda, kde jsou data zaznamenávána v digitální formě číselně.

Konvenčními metodami vznikají snímky fotografické – fotografie. Fotografie nějakého území na celé ploše vzniká pomocí několika objektivů najednou a je zkopírována na fotografický papír. V tomto případě se využívají letadla.



Obr. 4 Fotografie krajiny z letadla – ortorektifikovaný snímek. Zdroj: CENIA



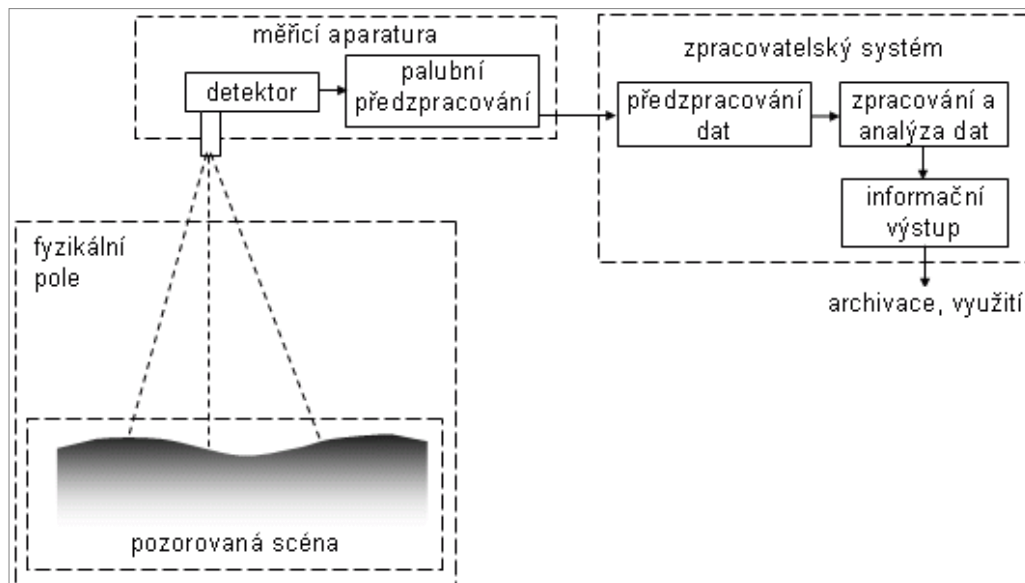
Obr. 5 EM záření + záření emitované povrchy. Zdroj: <http://www.b.wz.cz>

Metody dálkového průzkumu Země se dále dělí na aktivní a pasivní. Pasivní se dále dělí na přímé a nepřímé. Pasivní přímé metody mají jako zdroj informace záření slunce odrážené od zemského povrchu. Příkladem může být letecký snímek – letecká fotografie. Příklad pasivní nepřímé metody je termovize – zjišťování informací o teplotních vlastnostech objektů. Aktivní metody jsou metody radarového systému, kde radar vysílá signál, který je zpětně přijímán. (Dobrovolný, 1998).

Data, která jsou získávána distančním snímáním zemského povrchu, jsou už nezbytnou součástí dalšího rozvoje. Technologie dálkového průzkumu Země pokročila za posledních 10 až 15 let (Dobrovolný, 1998).

3.1.1 Systém dálkového průzkumu Země

Každý systém dálkového průzkumu musí být složen z určitých částí a skládá se ze čtyř základních složek, jak je to znázorněno na obrázku 6. První složku tvoří pozorovaná scéna, která je tím co pozorujeme. Druhou složku tvoří energetické zdroje, zdroje elektromagnetických vln, které tvoří základ metod dálkového průzkumu. Třetí složkou je měřicí aparatura, která je umístěná na nosiči např. letadla, družici (Kolář, 1990). Hlavní součástí jsou detektory, které mohou být různého typu. Záznamy, které vznikly pomocí těchto zařízení, nejsou ve fyzickém kontaktu s pozorovaným objektem. Mohou to být kamery, lasery, radarové systémy, sonary atd. Čtvrtou součástí je zpracovatelský systém, do kterého jsou předávána data z měřicí aparatury. Ve zpracovatelských systémech se všechna data zpracují a na závěr slouží, jako podkladové materiály pro popis sledovaných jevů nebo objektů (Kolář, 1990).



Obr. 6: (Schéma) hlavních částí systému dálkového průzkumu Země. Zdroj: www.geologie.vsb.cz

3.1.2 Dálkový průzkum Země v zemědělství

Hodnocení sucha s využitím dálkového průzkumu Země má mnoho výhod, jako například rychlé sbírání dat z určitých oblastí, které jsou doplněné rychlostí výpočtu pomocí výpočetní techniky a jejich vyhodnocení. Dálkový průzkum Země v zemědělství má zvláštní význam pro výzkumy, které se týkají zjišťování stavu rostlin a jejich zdravotního stavu. Poškození zdravotního stavu rostlin je způsobeno antropogenními vlivy nebo vlivy přírodními. Z hlediska přírodních vlivů jsou to vlivy způsobené počasím, které může zapříčinit extrémní katastrofální stav plodin. Jsou to hlavně výkyvy od normálního průběhu teplot a srážek. Průběh srážek má vliv na vlhkost půdy a další vývoj rostlin (Murdych, 1985).

3.1.3 Spektrální projev vegetace

Rostlinstvo představuje výraznou dominantu v dálkovém průzkumu Země. Pro potřeby zemědělství vyžaduje důkladné znalosti spektrálních projevů vegetace (Kolář, 1990).

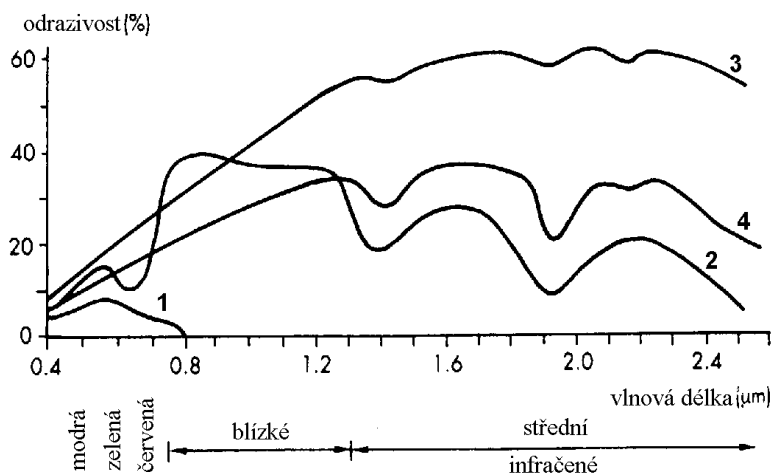
Vegetace jako taková je zastoupená téměř na všech snímcích a obrazových záznamech zemského povrchu. Povrchy pokryté vegetací z hlediska spektrálního chování mají společné rysy. Nejčastěji se využívá k spektrálnímu chování vegetační složky krajiny odrazové vlastnosti listů. Odrazové vlastnosti vegetačního krytu jsou ovlivněné faktory (Dobrovolný, 1998):

- Vnější uspořádání vegetačního krytu
- Vodní obsah
- Vlastnosti půdního substrátu
- Vnitřní struktura částí rostlin
- Zdravotní stav porostu

Křivka odrazivosti listu se dělí na tři části:

- a) Oblast pigmentační absorpce (0,4 - 0,7 mikrometrů)
- b) Oblast buněčné struktury (0,7 – 1,3 mikrometru)
- c) Oblast vodní absorpce (1,3 – 3,0 mikrometru)

Dálkový průzkum Země nám poskytne vstupní data pro hodnocení sucha a využívá také možnosti vegetačních indexů, které mohou být ukazatelem míry přítomnosti zelené hmoty a jejího zdravotního stavu. Ve vztahu k suchu můžeme využít oblasti vodní absorpce spektrální projevy vody a půdy (Dobrovolný, 1998).



Obr. 7 Obecný průběh spektrální odrazivosti vody 1. Voda, 2. Vegetace, 3. Suché půdy, 4. Vlhké půdy. Zdroj: www.ecologie.upol.cz

3.1.3 Využití dálkového průzkumu Země pro hodnocení vodního stresu rostlin

Vodní stres zahrnuje široký rozsah dějů a vztahů, které jsou spojeny s deficitem vody v rostlinných orgánech. Z hlediska fyziologického lze mluvit o postupných změnách, které se projevují v celém systému rostliny, tedy na úrovni morfologické, fyziologické a molekulární (Farooq a kolektiv, 2009).

Z hlediska použití nekontaktních metod je důležité, jakým způsobem se vodní stres rostlin projevuje ve změně odraženého nebo emitovaného elektromagnetického záření. Vztah spektrálního chování listu k vodnímu statusu rostliny závisí na řadě faktorů, jako je druh rostliny, stáří a stupeň vývoje, struktura a homogenita povrchu listu, tvar a geometrie povrchu, síla kutikuly, přítomnost ojínění a trichomů na vnitřní stavbě listu, přítomnosti barviv apod. (Baldini a kolektiv, 1997).

V případě celé rostliny a porostu je důležitá otázka struktury a jeho iluminace, listové plochy, stáří porostu zastoupení podílu pozadí (půdy) v obraze, meteorologických podmínkách apod. (Govender a kolektiv, 2009).

Pro účely hodnocení vodního statusu rostliny, vegetačního krytu a vodního stresu jsou využívány přístupy optického, termálního a mikrovlnného dálkového průzkumu.

3.1.4 Optický dálkový průzkum

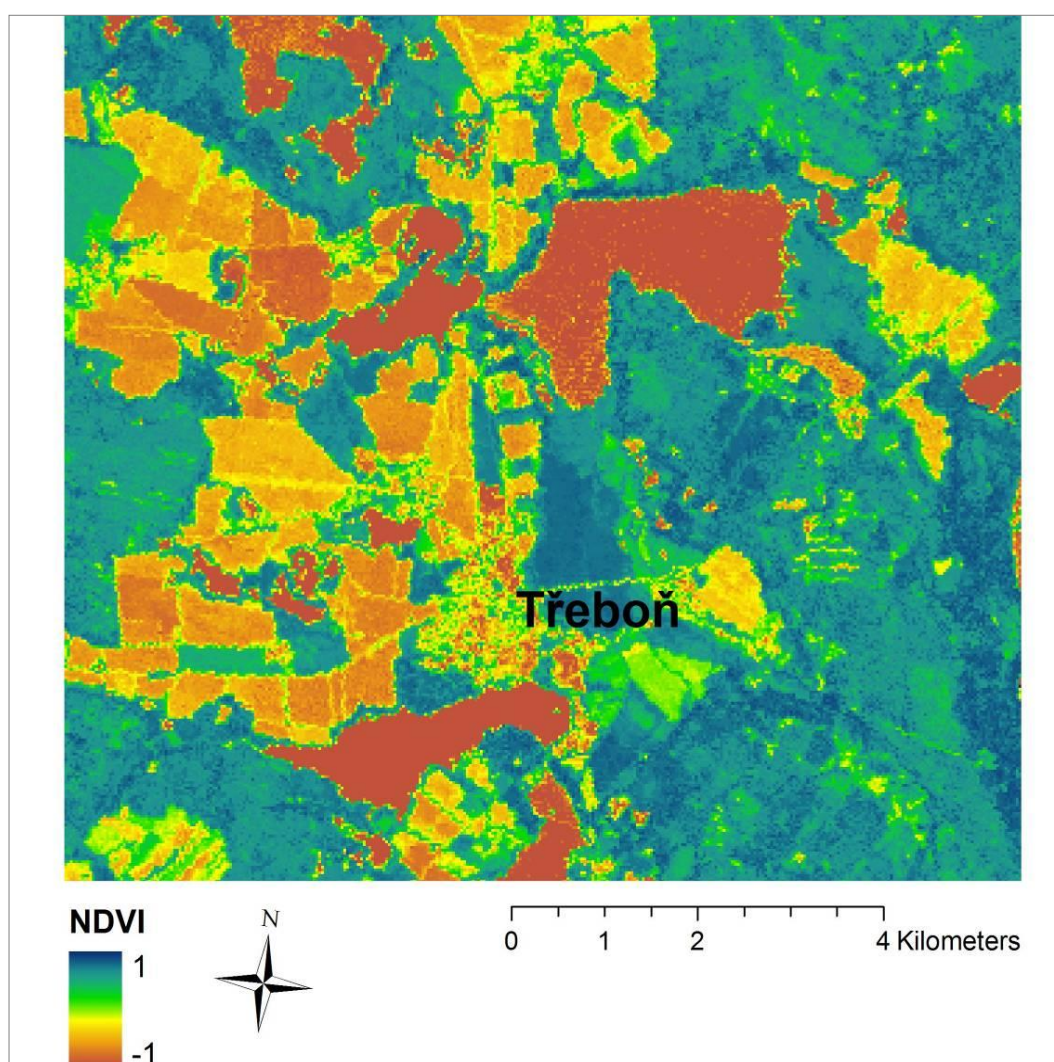
Změny obsahu vody v pletivech rostlin se projevují změnami spektrálního chování povrchu rostlin v blízké (700 – 1300 nm) a střední infračervené (1300 – 3000nm) oblasti elektromagnetického spektra se středními hodnotami po absorpci elektromagnetického záření vodou ve vegetaci okolo 970, 1200, 1400 a 1940 nm (Curran, 1989).

Pro jednotlivé listy rostlin poskytuje nejlepší informaci o obsahu vody spektrální pás o rozsahu 1300 – 2500 nm (Carter, 1991).

Díky výrazné absorpci záření vodou v atmosféře je na úrovni celých rostlin a porostu výhodnější využití spektrálního rozsahu 950 – 970 nm (Peñuelas a Fillelal, 1998).

V závislosti na obsahu vody v pletivech rostlin je pro hodnocení vodního stresu výhodnější využití tzv. spektrálních indexů než využití změn v daném spektrálním pásu. Jedná se zpravidla o poměrové indexy, kdy je v čitateli použita

vlnová délka, která vykazuje významnou změnu spektrálního projevu v závislosti na změně obsahu vody v pletivech a ve jmenovateli je použita referenční vlnová délka, která nevykazuje významné změny. Peñuelas ukazuje využití poměru spektrální reflektance mezi vlnovými délkami 970 a 900 nm (Water Index, WI), které významně korespondují s relativním obsahem vody (RWC) v listech rostlin, potenciální vodou v listech, vodivost v pletivech a elasticitu buněčné stěny. Pro hodnocení změny RWC je vhodnější využít poměr mezi WI a NDVI. Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI) bere v potaz strukturní změny a změny obsahu barviv v listu (Peñuelas a kolektiv, 1993).



Obr. 7 Družicový snímek Indexu NDVI

Závislost spektrálních vlastností k obsahu vody v pletivech rostlin v delších vlnových délkách studovali např. Tian a kolektiv (2001), Aoki a kolektiv (1988) a

Inoue a kolektiv (1993) a další. Využili pro hodnocení vztahu jednotlivých spektrálních pásů a jejich poměrů regresní metody, kdy definovali směrnice změny spektrálních vlastností listu v závislosti na relativním obsahu vody, obsah vody na ploše listu, konkrétní obsah vody v listu, procento živé hmotnosti vody v listu, relativní vlhkost listu a podíl čerstvé tkáně (Tian a kolektiv (2001), Aoki a kolektiv (1988), Inoue a kolektiv (1993) a další).

Uvedené přístupy jsou založeny zpravidla na zajišťování spektrálních informací in situ, tedy v laboratořích nebo v polních podmínkách, kde nemá na měření významný vliv vrstva vzduchu (atmosféra) mezi snímaným objektem, senzorem a geometrií záření. Díky přítomnosti plynu (CO_2 , H_2O , O_2) ve vrstvě vzduchu (atmosféry) dochází k absorpci a rozptylu elektromagnetického záření v některých vlnových délkách, což ovlivňuje výsledný signál (Gates, 1980). Při použití leteckého snímání (letecké spektrometrie) a družicového průzkumu je spektrální informace omezená. Zde je možné do určité míry provádět korekce dat, což vyžaduje analýzu profilu vzduchu, kterým dané záření prochází anebo využít tzv. spektrálních oken, což jsou spektrální oblasti, které nejsou významně ovlivněny atmosférickými vlivy (Gates, 1980).

Využití družicových systémů přináší možnosti hodnotit celá velká území a jejich hydrologické vlastnosti, ovšem zpravidla na úkor spektrálních rozlišení, kdy jsou používány především multispektrální systémy s omezeným počtem spektrálních pásů. U dat, pořízených těmito systémy, je možné využít řady spektrálních indexů, sestavených pro účely hodnocení vodního režimu vegetačního krytu.

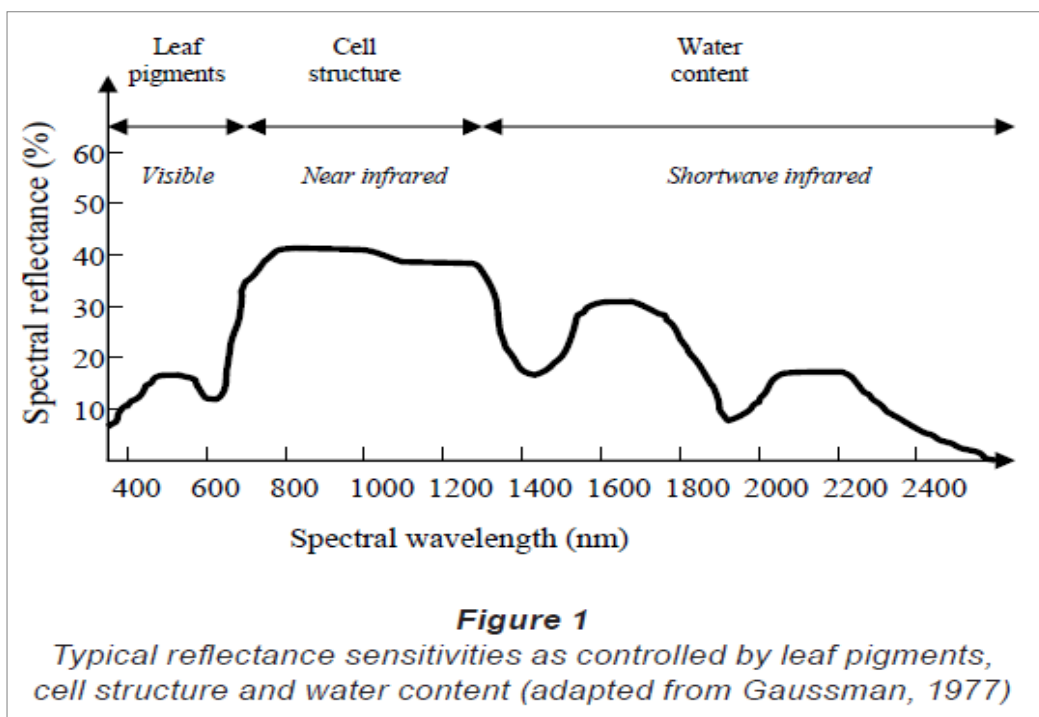
Analogicky vytvářením poměrových indexů pro skupinu základních měření, jsou vytvářeny poměrové indexy pro družicová multispektrální data. Hunt and Rock (1989) sestavili tzv. index MSI (Moisture Stress Index) na základě těsné lineární korelace mezi obsahem vody v porostu a poměrem mezi středním a blízkým IR spektrálním pásem, které odpovídají pátému a čtvrtému spektrálnímu pásmu družice Landsat 5TM. Dálkový průzkum Země poskytuje přehled použitých dat pro rozvoj indexů spektrální odrazivosti při určování vodního stresu rostlin. Pro účely zemědělství, ochrany a obnovy půdy v rozsáhlých oblastech je vyžadováno spolehlivé měření vodního stresu rostlin. Letecké, družicové technologie dálkového průzkumu Země se obvykle používají při průzkumu spektrálních reakcí vegetace, které vedou k rostlinnému stresu (Govender a kolektiv, 2009).

Předchozí studie využívaly multispektrální senzory, které obvykle

shromažďovaly 4 až 7 spektrálních pásem ve viditelných infračervených oblastech elektromagnetického spektra. Data získávaná při dálkovém průzkumu Země pracují s hyperspektrálními (HSI), multispektrálními (MSI) a tepelnými (TIR) senzory infračerveného světla. Dostupnost hyperspektrálních dat vedla k identifikaci několika spektrálních indexů, které se ukázaly jako velice užitečné pro určování vodního stresu. Následné studie odhalily přímé vztahy mezi koncentrací rostlinného barviva viditelného lidským okem a odrazivostí elektromagnetického záření (Govender a kolektiv, 2009).

K identifikaci odrazivosti a detekci vodního stresu rostlin jsou běžně používané základní metody pozorování, jako například potenciální obsah vody v listech, chlorofyl, koncentrace barviva v listech a obsah vody v listech. Tyto metody jsou užitečné pro praktické využití, hlavně při pozorování porostu.

Cleary a Zaerr (1984) prohlásili, že pokud je potenciální obsah vody v listu menší než 0,8 MPa, určuje to stres rostliny. Spolehlivá detekce a předpověď vodního stresu rostlin je důležitá pro zemědělství a pro obnovu a ochranu půdy. Úbytek koncentrace chlorofylu v listech je identifikátorem vodního stresu (Curran a kolektiv, 1992). Na druhou stranu molekulární struktura a obsah vody v listech jsou klíčovými faktory středních a blízkých vlnových délek infračerveného záření, jak je znázorněné v níže uvedeném obrázku (Govender a kolektiv, 2009).



Obr. 8 Vlnová délka infračerveného záření. Zdroj: Gaussman, 1977

3.1.5 Termální dálkový průzkum

Vedle přímých spektrálních změn souvisejících se změnou obsahu vody v pletivech rostlin dochází též k nepřímým projevům, které mohou být využity jako indikátory vodního stresu rostlin a porostu. Změna obsahu vody v pletivech rostlin má za důsledek změnu výměny vodní páry mezi rostlinou a atmosférou, která je regulovaná průduchy. Při nedostatku vody dochází k uzavírání průduchu a ke snížení intenzity transpirace (Nobel, 1999). Důsledkem je změna tepelné bilance povrchu rostliny, která se projevuje zvýšením teploty povrchu.

Změna teploty tělesa je podle Stefana – Boltzmanova zákona fyzikálně spjata s emisí dlouhovlnného záření povrchem, které lze zaznamenat nástroji dálkového průzkumu (Jones, 1999).

Pro hodnocení vodního stresu porostu, resp. vodního statutu porostu, lze použít přístupy postavené na základě hodnocení teplotního gradientu mezi povrchem a atmosférou a přístupy postavené na hodnocení tepelné bilance povrchu, která je z teplotního gradientu odvozená. Dálkový průzkum Země v tomto pohledu představuje nástroj pro získání informace o teplotě hodnoceného povrchu vegetace.

Jedním z přístupů hodnocení vodního stresu vegetace je tzv. Crop Water Stress Index (CWSI), označovaný též, jako metoda tří teplot, která lze modelovat buď na základě teplotního gradientu, nebo na základě výpočtu tepelné bilance. V prvním případě je potřeba definovat analogii maximálně transpirujícího listu a listu netranspirujícího a tyto vztáhnout k listu reálnému (Jones, 1999, Jones a kolektiv, 2002, Cohen a kolektiv, 2005). Tento empirický přístup analyzoval Jones (1999) a analogicky definoval tzv. Index stomatální vodivosti (I_g), který bere v úvahu homogenní teplotu atmosféry. Index stomatální vodivosti byl využit a aplikován v pracích Jones a kolektiv, 2009, Leinonen a kolektiv, 2006. Výpočet hodnoty CWSI na základě fyzikálního přístupu vyžaduje definování řady dalších proměnných, jako je teplotní a vlhkostní bilance prostředí a rostliny, charakteristiky proudění vzduchu kolem rostliny a charakteristika mezní vrstvy rostliny a určení průduchové vodivosti (Jackson a kolektiv, 1981, Jackson a kolektiv, 1988, Kjølgaard a kolektiv, 1996, Jones a kolektiv, 2002, Jones, 2004, Suleiman a Crago 2004, Cohen a kolektiv, 2005, Leinonen a kolektiv, 2006, Payero a Irmak, 2006, Jones a kolektiv, 2009). Vztah mezi výparem z rostliny a CWSI uvádí Jackson a kolektiv (1981). CWSI je v tomto případě rozdíl mezi celkem a relativním výparem.

Podobně jako průduchovou vodivost lze pomocí infračervené termografie určit intenzitu transpirace za předpokladu znalosti úrovně potenciálního výparu a stanovení hodnoty CWSI.

3.2 Ekologická funkce vegetace a struktura krajiny v období sucha

Rostliny mají velký význam na zadržování vody v krajině a významně napomáhají také teplotní stabilitě v krajině.

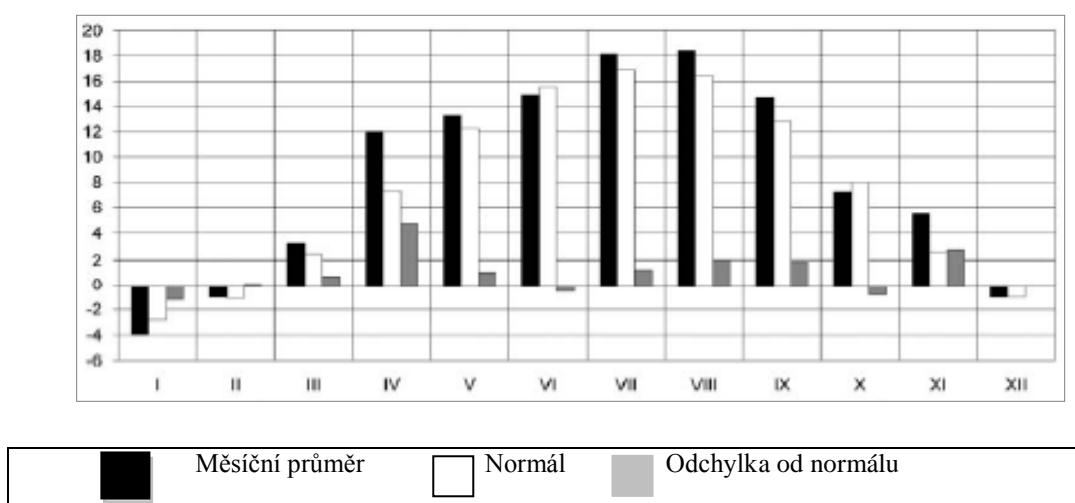
Vlivem klimatických změn, které jsou způsobeny přírodními nebo lidskými zásahy, se narušuje přirozený koloběh vody. Musíme si uvědomit, že člověk se na tom podílí velkou měrou. Vznikají oblasti, kde se odstraňuje vegetace, pozemky se odvodňují, odlesňují se plochy a to je spojené s uvolňováním velkého množství tepla.

V oblastech, kde je narušen přirozený vegetační kryt, nemůže docházet k vypařování vody a to má za následek negativní vliv na režim srážek. Nastává situace, kdy se sluneční energie mění na teplo a dochází k výkyvu teploty v průběhu dne. Zvyšuje se rozdíl teplot mezi dnem a nocí v různých lokalitách. Nejedná se o problém výhradně České Republiky, jedná se o globální celosvětový problém, kdy dochází k vysušování krajiny a rozšiřování pouští. Podle údajů FAO (mezinárodní organizace pro potraviny a zemědělství) ztrácí ročně 200 000 km² zemědělských ploch svojí úrodnost následkem sucha a zasolení. Na 60 000 km² se ročně mění v poušť. 40% plochy kontinentu má problém s nedostatkem vody a má proto omezenou zemědělskou produkci (Pokorný, 2009). Vodní pára je pak teplým vzduchem unášena daleko. Takovým způsobem se malé a časté srážky ztrácejí a přibývají mohutné a méně časté srážky.

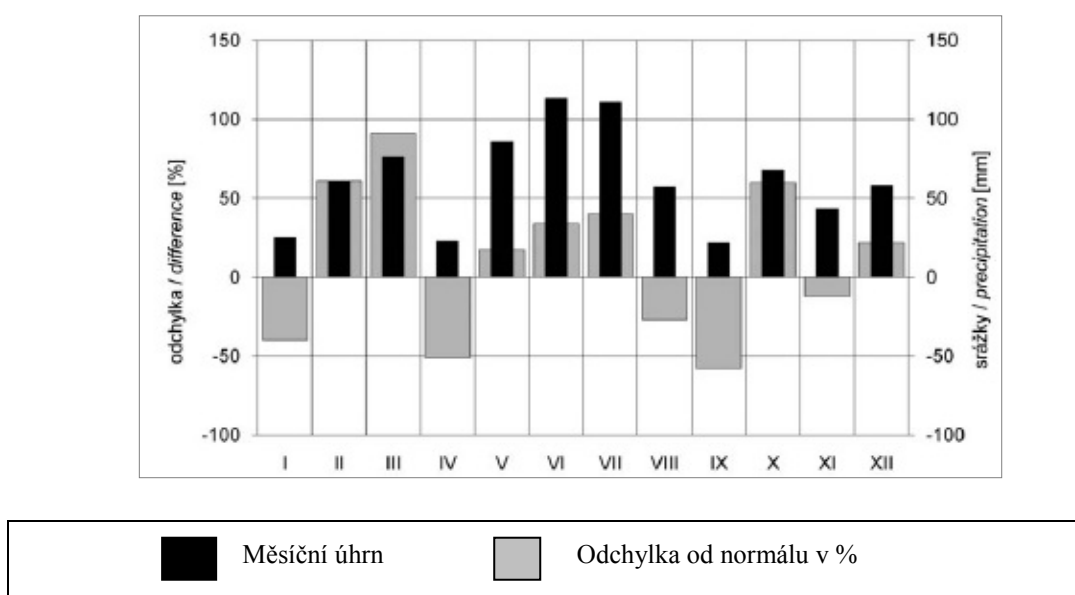
Nejvíce je suchem ovlivněno jaro v období od dubna do června, protože teploty v tomto období přesahují rámeček max. teplot a můžeme říci, že přecházíme ze zimy do léta. Podle studií hydrometeorologického ústavu, který každý rok vydává hydrologickou ročenku ČR, byl pro rok 2009 měsíc duben teplotně výrazně nadprůměrný, protože průměrná měsíční teplota se pohybovala okolo 12ti °C. Srážkově byl tento měsíc pod normálem s průměrným srážkovým úhrnem 23 mm. Nebylo to ani 50% normálního srážkového úhrnu. Tento měsíc byl charakteristický převážně ve středních a západních Čechách na úrovni charakterizující sucho. Květen roku 2009 se vyznačoval průměrnou teplotou vzduchu, která se pohybovala kolem 13,3°C, což bylo o jeden stupeň nad normálem. Srážkově byl květen na území ČR

normální, průměrný srážkový úhrn dosahoval 86 mm. Podzemní vody v tomto období měly sestupnou tendenci. Pouze v západních Čechách byly zaznamenány větší srážkové úhrny. Celkově bylo v těchto měsících charakterizováno sucho. Červen byl na území ČR teplotně normální, průměrná měsíční teplota byla 14,9 °C a srážkový úhrn byl nad normu s průměrem okolo 114 mm. Průměrné roční srážky jsou 720 mm nad pevninou. Úhrn srážek v ČR v roce 2009 po měsících, je zobrazen v grafu č. 1.

Graf č. 1 Průměrné měsíční teploty vzduchu v ČR v roce 2009. Zdroj: Hydrologická ročenka ČR, 2009, vydaná ČHMU



Graf č. 2 Průměrné měsíční úhrny srážek v ČR v roce 2009. Zdroj: Hydrologická ročenka ČR, 2009, vydal ČHMU.



Důležité je zabezpečit stálý výpar vody, a toho můžeme docílit zdravou vegetací. Problémy sucha se projevují také snížením podzemní vody a vody v řekách.

Tabulka č. 3 analyzuje úhrn atmosférických srážek a porovnání roků 2009 a 2010 v určitých oblastech ČR. V tabulkách jsou rozepsané průměrné měsíční srážky a pro nás jsou zajímavá data získaná od dubna do června, kdy je statisticky dokázáno, že je pravděpodobnost vzniku sucha nejvyšší (označeno žlutou barvou).

Tabulka č. 3 Měsíční úhrny srážek v některých oblastech ČR (porovnání roků 2009, 2010)

Kraj:			Okres:			Organizace:					
ZLÍNSKÝ			Uherské Hradiště			VÚLHM					
MORAVSKOSLEZSKÝ			Frýdek - Místek								
Měsíční analýza atmosférických srážek (v mm)											
2009											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
46,9	91,5	78,6	0	65,7	58,6	114,9	42,2	23,5	50,4	106,7	31,7
59,2	76,3	207,8	18,4	81,5	117,4	84,8	71,7	32,6	101	98,7	109,2
42,2	135	208,7	11,7	93,8	138,4	130,2	87,9	24	191	151,9	72,7
2010											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
28,7	8,2	34	57,5	195,8	106,7	106,7	133	79,7	18,8	63,3	46,9
64,5	52,6	32,9	65	223,3	117,4	115,7	160	61,9	31	133,7	89,5
59,8	37,5	37,5	70,4	404,8	130,2	185,3	258	127	32,8	126,6	83,3

Kraj:			Okres:			Organizace:					
JIHOČESKÝ			České Budějovice Jindřichův Hradec Prachatice			VÚLHM VÚLHM ÚH AV ČR					
Měsíční analýza atmosférických srážek (v mm)											
2009											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
15,2	65,7	92,6	27,0	123,1	96,2	77,7	105,5	11,7	66,3	27,0	70,4
21,9	141,9	73,9	1,2	92,6	205,2	119,6	107,9	36,4	93,2	39,9	45,7
20,6	75,2	60,8	51,7	136,4	248,9	139,0	62,0	47,2	71,3	46,2	43,4
2010											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
70,4	29,3	5,9	39,0	152,4	107,9	165,3	130,6	59,2	0,6	44,6	58,6
89,1	44,6	25,8	69,8	106,7	148,9	175,3	241,6	106,7	27,3	48,1	56,3
47,5	34,0	56,6	41,2	114,6	111,9	158,5	111,6	43,4	9,5	33,3	61,8
Kraj:			Okres:			Organizace:					
VYSOČINA			Pelhřimov			ČHMÚ					
						ČGS					
			Havlíčkův Brod			ČGS					
						VÚLHM					
Jihlava			VÚLHM								
Měsíční analýza atmosférických srážek (v mm)											
2009											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
18,4	64,1	77	21,9	60,4	111	85,4	103	14,7	66,9	30,5	50,9
19	92,8	65,7	21,8	72,4	126,8	112,6	98,9	12,2	69	52,9	27,9
22,4	87,6	111,3	6,6	78,6	88,2	137,3	112	20,4	81	67,2	39,6
15,2	67,4	71,5	13,5	79,2	109,6	110,2	87,9	21,1	67,2	25,8	69,5
29,3	64,5	106,7	7	96,2	118,4	123,7	83,3	16,9	58	49,8	56,3
2010											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
56,2	18,2	32,4	47	113,6	79,7	93,3	245	85	5,8	53,9	48
74,2	19,4	33,9	54,8	103,2	69,5	87,1	276	83,7	7,7	31,6	61,8
72,7	20,4	50,9	58,7	111,9	55	122,5	160	100	6,5	34	73,1
60,4	12,4	28,1	43,7	118,2	50,4	171,2	184	82,1	5,2	50,4	51,6
77,4	22,3	18,8	62,2	84,4	129	128,4	145	114	18,2	34,6	57,5

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo přiblížení problematiky sucha na našem území a jeho hodnocení pomocí dálkového průzkumu Země.

Sucho je globální klimatický problém (extrém), který postihuje různé oblasti naší Země. Jeho příčiny jsou nejen klimatického charakteru, ale často jsou způsobené zásahy člověka do vegetace. Tím, že stále vznikají nové výstavby, se krajina odlesňuje a to má za následek fatální snížení transpirace, která je nutná pro tvorbu srážek. Následky jsou snižování hospodářských výnosů a s tím související ekonomické ztráty. Je třeba obnovit základní ekologické funkce krajiny, které nám v některých oblastech vrátí vodu zpět. Jedním z nabízejících se řešení by bylo posílení schopnosti krajiny zadržovat vodu. Toho by se dalo dosáhnout regenerací vegetace.

Každá rostlina reaguje na sucho rozdílně. Závisí to na velikosti kořenového systému, na stáří rostliny nebo v které vegetační fázi se právě nachází. Také však moc dobře víme, že voda je nezbytnou součástí života všech živých organismů – rostlin nevyjímaje. V případě nedostatku vody rostliny trpí vodním stresem. Snižuje se transpirace tím, že rostlina uzavírá své průduchy, což může vést až k odumření rostliny. Abychom tomuto předešli, využíváme závlahového systému, který musíme přizpůsobit typu konkrétní plodiny a závlahovou dávkou odstraníme vodní deficit půdy. Díky tomu rostlina netrpí vodním stresem.

Dálkový průzkum Země je jednou z moderních technologií výzkumu zemského povrchu. V této práci byly rozepsány formy dálkového průzkumu a jejich praktické využití při sledování vodního stresu vegetace. Optický dálkový průzkum zkoumá využití spektrálních pasů a změny v těchto pásech. Jsou zde zmiňovány spektrální indexy, které poskytují informace o relativním obsahu vody v listech (RWC), potenciálním obsahu vody v listech, vodivosti v rostlinných pletivech a elasticitě buněčné stěny. Oproti tomu termální dálkový průzkum zkoumá nepřímé projevy, které souvisejí se změnou obsahu vody v pletivech a zabývá se hlavně důsledky výměny vodní páry mezi vegetací a atmosférou. Dále popisuje změny tepelné bilance povrchu rostliny a také jak k nim dochází. Používá se při tom metoda tří teplot, která zahrnuje bilanci, teplotní a vlhkostní bilanci prostředí a rostliny a v neposlední řadě i charakteristiku proudění vzduchu. Takto získaná data z metod dálkového průzkumu poskytují informace pro monitorování vodního statutu a

zdravotního stavu vegetace.

Při využití všech metod monitoringu sucha bylo zjištěno, že sucho je extrém, kterým je třeba se zabývat v širším měřítku a zejména také zvýšit povědomí obyvatelstva o jeho dopadech na životní prostředí.

Závěrem je třeba říci, že pokud pochopíme závažnost tohoto problému, uděláme první krok k záchraně krajiny.

SEZNAM LITERATURY

- AOKI, M., YABUKI, K., TOTSUKA, T. (1988): Effective spectral characteristics of leaf for the remote sensing of leaf water content. *J. Agric. Meteorol* 44, 111-117.
- BALDINI, E., FACINI, O., NEROZZI, F., ROSSI, F. & ROTONDI, A. (1997): Leaf characteristics and optical properties of different woody species. *Trees*, 12: 73-81.
- BLINKA, P. (2004): Klimatické hodnocení sucha a suchých období na území ČR v letech 1876-2003. In ROŽNOVSKÝ J., LITCHMANN, T. (eds.): Seminář "Extrémy počasí a podnebí". Sborník z odborného semináře, 11. března 2004, Brno.
- BRÁZDIL, R., ROŽNOVSKÝ, J. a kolektiv,(1995): Dopady možné změny klimatu na Zemědělství v České republice. ČHMÚ, Praha.
- BRAZDIL, R., ŠTEKL, J. (1987): Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J. E. Purkyně, Brno.
- BRÁZDIL, R., KIRCHNER, K. a kolektiv (2007): Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Masarykova univerzita Brno a ČHMÚ, Praha.
- BURROUGHT, W. J.,CROWDER, B., ROBERTSON, T., VALLIER-TALBOTOVÁ, E., WHITAKER, R., ZILLMAN, J. (1999): Cesty za poznáním POČASÍ. Václav Svojtka & CO, Praha.
- CAMPBELL, J. B. (2002): Introduction to Remote Sensing. The Guildford Press, New York.
- CARTER, G. A. (1991): Primary and Secondary Effects of Water Content on the Spectral Reflectance of Leaves. *American Journal of Botany*, 78, 916.
- CLEARY, B., ZAERR, J. (1984): Guidelines for measuring plant moisture stress with a pressure chamber. PMS Instrument Company. Royal Oaks Drive, Corvallis, Oregon, USA.
- COHEN, Y., ALCHANATIS, V., MERON, M., SARANGA Y., TSIPRIS, J. (2005): Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis. *Journal of Experimental Botany*, 56 (417), 1843-1852.
- CURRAN, P. J. (1989): Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sensing of Environment*, 30, 271 – 278.
- ČEVENÝ, J. a kolektiv (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země digitální zpracování obrazu. Masarykova univerzita, Brno.

- D'ODORICO P., PORPORATO A. a kolektiv (2006): Dryland Ecohydrology. Department of Environmental Sciences, University of Virginia, U.S.A.
- FAROOQ, O., WAHID, A., KOBAYASHI, N., FUJITA, D., BASRA, S. M. A. (2009): Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Department of Agronomy, University of Agriculture Pakistan.
- GATES, D. M. (1980): Biophysical ecology. Dover Publications, INC, Dover.
- GOVENDER, M., DYE, P. J., WEIRSBY, I. M., WITKOWSKI, E. T. F., AHMED, F. (2009): Review of commonly used remote sensing and ground-based technologies to measure plant water stress. *Water SA*, 35 (5): 741-752.
- HAVLÍČEK, V. a kolektiv (1986): Agrometeorologie. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- HUNT, E. R., ROCK, B. N. (1989): Detection of changes in leaf water content using Near – and Middle – Infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30, 43 – 54.
- INOUE, Y., MORINAGA, S., SHIBAYAMA, M. (1993): Non-destructive estimation of water status of intact crop leaves based on spectral reflectance measurements. *Jap. J. Crop Sci.* 62, 462-469.
- JACKSON, R. D., IDSO, S. B., REGINATO, R. J., PINTER, P. J. Jr. (1981): Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resource Research* 17, 1133 – 1138.
- JACKSON, R. D., KUSTAS, W. P., CHOUDHURY, B. J. (1988): A re -examination of crop water stress index. *Irrigation Science* 9, 309-317.
- JONES, H. G a kolektiv (2002): Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2249-2260.
- JONES, H. G. (1999): Use of thermography for quantitative studie sof spatial and tempoval variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant, Cell and Environment*, 22, 1043-1055.
- JONES, H. G. (2006): Estimating stomatal conductance with thermal imagery. *Plant, Cell and Environment*, 29, 1508-1518.
- JONES, H. G., SERRAJ, R., LOVEYS, B. R., XIONG, L., WHEATON, A., PRICE, A. H. (2009): Thermal infrared imaging of crop and quantification of plant responses to wwater stress in the field. *Functional Plant Biology* 36, 978 – 989.
- KAPLER, P., TRNKA, M., SEMERADOVA, D., MOŽNÝ, M. (2006): Prognóza

- výskytu sucha v ČR do r. 2050. Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Seminář „Problematika desertifikace v České republice.“ MZLU Brno, Brno.
- KJELGAARD, J. F., STOCKLE, C. O., EVANS, R. G. (1996): Accuracy of canopy temperature energy balance for determining daily evapotranspiration. *Irrigation Science* 16, 149 – 157.
- KOLAŘ, J. (1990): Dálkový průzkum Země. SNTL, Praha.
- KOLEKTIV AUTORU (2009): Atlas podnebí České republiky. ČHMÚ Praha.
- KRAVČÍK, M., POKORNÝ, J., KOHUTIAR, J., KOVAČ, M., TÓTH, E. (2007): Voda pre ozdravenie klímy – Nová vodná paradigma. MVO Ľudia a voda, Združenie miest a obcí Slovenska, Enki, Nadácie pre podporu občanských aktivít, Žilina.
- KURPELOVA, M., COUFAL, L., ČULÍK, J. (1975): Agroklimatické podmienky ČSSR. Hydrometeorologický ústav, Bratislava.
- LARCHER, W. (1988): Fyziologická ekologie rostlin, Academia nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- LEINONEN, I., GRANT, O. M., TAGLIAVIA, C. P. P., CHAVES, M. M., & MAVI, H. S., TUPPER, G. J. (2004): Agrometeorology principles and applications of climate studies in agriculture, FPP, New York.
- MOŽNÝ, M. a BAREŠ, D. (2006): Aktuální informace o vlhkosti půdy pro monitoring a hodnocení sucha. ČHMÚ, Praha.
- MOŽNÝ, M. (2004): Hodnocení sucha na území ČR v letech 1891 - 2003. In ROŽNOVSKÝ J., LITCHMANN, T. (eds.): Seminář "Extrémy počasí a podnebí". Sborník z odborného semináře, 11. Března 2004, Brno.
- MUNZAR, J. (2004): Příklady extrémního sucha na území ČR v 16- 19 století In ROŽNOVSKÝ J., LITCHMANN, T. (eds.): Seminář "Extrémy počasí a podnebí". Sborník z odborného semináře, 11. Března 2004, Brno.
- NATIONAL WEATHER SERVICE (2006): Drought public fact sheet. www.drought.unl.edu/whatis/concept.
- MAKSIMOV, N. A. (1950): Sucha a boj proti nim. Nakladatelství Naše vojsko, Praha.
- MURDYCH Z. (1985): Dálkový průzkum Země. Academia, nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- NOBEL, P. S. (1999): Physicochemical and Environmental Plant Physiology. Academic Press. New York. 474 p.

- NOSEK, M. (1972): Metody v klimatologii. Academia, Praha.
- PAYERO, J. O., IMRAK, S., (2006): Variable upper and Loir crop water stress index baselines for corn and soybean. *Irrigation Science*, 25, 21 – 32.
- PEJML, K. (1966): Příspěvek ke kolísání klimatu v severočeské vinařské a chmelařské oblasti od r. 1500 – 1900. In: sborník prací HMÚ, sv. 7, 23-78.
- POKORNÝ J. (2009): Význam vegetace a vody pro umírňování klimatické změny. Zpravodaj Ekozemědělci přírodě, ENKI o.p.s., Ústav systémové biologie a ekologie Akademie věd ČR, Třeboň.
- PEÑUELAS, J., FILELLA, I., BIEL, C., SERRANO, L., SAVE, R. (1993): The reflectance at the 950-970 region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing* 14 (10): 1887-1905.
- PEÑUELAS, J., FILELLA I. (1998): Trends in Plant Science, 3, 151 – 156.
- PROCHÁZKA, S. a kolektiv (2002): Morfologie a fyziologie rostlin. MZLU Brno, Brno.
- ROŽNOVSKÝ, J., HAVLÍČEK, V. (1998): Bioklimatologie. MZLU Brno, Brno.
- ROŽNOVSKÝ, J., JANOUŠ, D. (2001): Palmerův index závažnosti sucha a jeho aplikace pro lokalitu Žabčice. Seminář „Hodnocení a predikce, sucho.“ Sborník z odborného semináře, 19. 11. 2001, Brno. <www.chmi.cz/meteo/CBKS/sucho01/litschmann.pdf>
- SULEIMAN A., CRAGO R. (2004): Hourly and daytime evapotranspiration from grassland using radiometric surface temperatures. *Agronomy Journal* 96, 384 – 390.
- ŠEBÁNEK, J. a kolektiv (1989): Fyziologie rostlin. VŠZ, Brno.
- TIAN, Q. (2001): Spectroscopic determination of wheat water status using 1650-1850 nm spectral absorption features. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 2329-2338.
- TRNKA, P. (2000): Vzdělávání a týmová spolupráce v oblastech regenerace krajiny intenzivně narušené lidskou činností. MZLU Brno, Brno.