

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
CHARLES UNIVERSITY IN PRAGUE**

Přírodovědecká fakulta
Faculty of Science

Katedra fyzické geografie a geoekologie
Department of Physical Geography and Geoecology



**Hodnocení krajinných funkcí pomocí
multispektrálních družicových dat Landsat**

**Landscape functioning assessment using Landsat
multispectral remote sensing data**

Petra HESSLEROVÁ

školitel (supervisor): RNDr. Jakub Langhammer, PhD.

Praha 2008

Úvod

Krajina se vyznačuje vysokým stupněm komplexity, z čehož vyplývá různorodost jejich funkcí. Existuje celá řada přístupů, jimiž lze hodnotit a definovat krajinné funkce. Některé z nich jsou popsány v úvodní teoretické části práce. Jedním z komplexnějších modelů, které analyzují fungování krajiny je Energy-Transport-Reaction (ETR) model W. Riply (1995). Tento ekologický model je založen na disipaci denního pulsu sluneční energie, ve spojitosti s odnosem látek z krajiny. Disipace je chápána ve smyslu Prigoginovy teorie disipačních struktur a samoorganizace jako přeměna energie slunečního záření na další formy energie. V tomto procesu mají nezastupitelnou úlohu vegetace, jež je schopna sluneční záření vázat do biomasy (proces fotosyntézy) a transpirací ji účinně přeměňovat na latentní složku tepla. Maximalní disipace tohoto denního energetického pulsu je považována za základní ekologickou funkci krajiny.

Teplota krajinného pokryvu a její změny v čase, jsou indikátory, určující rovnováhu mezi oběhem vody, energetickou i látkovou bilancí krajiny. Přímo i nepřímo ovlivňuje vodní cyklus (rozložení a zdroj srážek, jejich intenzitu, kvalitu vody, hladinu podzemní vody), klima na všech hierarchických úrovních – od mikroklimatu po globální cirkulační systémy, větrné proudění, vlhkost vzduchu, odnos látek a živin (vyšší teplota půdy snižuje její retenční schopnost z hlediska vody, tak látek, urychluje rozklad organické složky).

Na teplotní obraz krajiny má vliv především typ krajinného

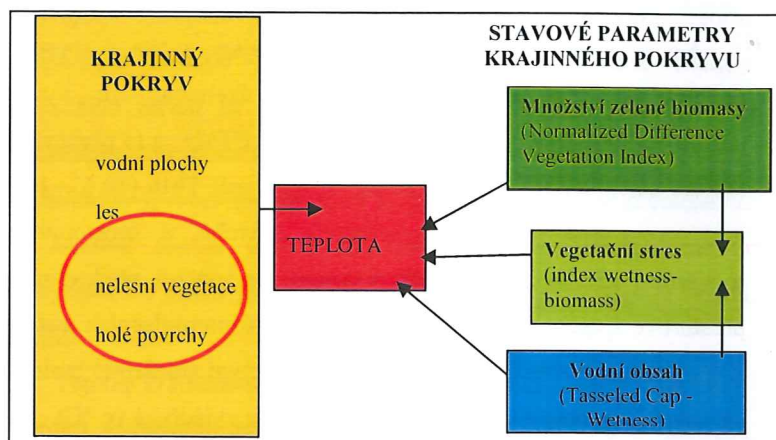
pokryvu a jeho struktura, dále i stavové (kvalitativní) parametry (obsah chlorofylu a vlhkosti). V závislosti na těchto parametrech, funkční krajina bude disipovat sluneční energii tak, že bude schopna vyrovnávat tepelné rozdíly, zadržovat vodu, rozpuštěné i nerozpuštěné látky. V ideálním případě je evapotranspirací přeměněno až 80% dopadající sluneční energie na latentní teplo, které nepřispívá ke zvyšování teploty krajiny. Způsob disipace slunečního záření v krajině považujeme za hlavní parametr pro hodnocení základních ekologických funkcí.

Ke stanovení energetické účinnosti krajiny a tím i způsobu disipace sluneční energie na velkých územích, lze využít multispektrální družicová data Landsat TM a ETM+, a to především tepelné části elektromagnetického spektra. Kanál TM6 (10,4 – 12,5 μm) zaznamenává termální radiaci z povrchů, s prostorovým rozlišením 120 m, popř. 90 m. Význam dat spočívá především v prostorové spojitosti, která nevyžaduje použití interpolačních metod. Z těchto termálních dat lze získat nejen relativní (radiační) teplotu, ale rovněž hodnoty absolutní (kinetická teplota vyjádřená ve $^{\circ}\text{C}$).

V souladu s teoretickým základem ETR modelu a možnostmi, které poskytují data DPZ, byly formulovány i **hlavní cíle práce**.

- Rešerše různých pojetí a přístupů ke krajinným funkcím.
- Posouzení informačního potenciálu multispektrálních družicových dat v krajinné ekologii, výhody a limity jejich využití.

- Návrh a výběr parametrů (Obr. 1), zjistitelných metodami DPZ, pro hodnocení krajinných funkcí z hlediska disipace sluneční energie.
- Analýza kvality krajiny a jejího fungování. Vliv krajinného pokryvu a vybraných stavových parametrů na teplotní obraz krajiny.
- Vytvoření metody, založené na využití multispektrálních družicových dat Landsat a disipační teorii, umožňující rychlou analýzu a diagnózu krajinných funkcí, pro velké územní celky.



Obr. 1 Parametry pro hodnocení disipace sluneční energie v krajině

Na příkladu modelového území severních Čech a části Saska bylo ukázáno fungování různých krajinných typů – od krajiny relativně přírodní, se zachovalým vegetačním pokryvem po krajinu s extrémně silným zatížením. Pro hodnocení byla vybrána družicová data Landsat TM (scéna 192-025) z 5.5. 1986, 1.7. 1995 a 10.8. 2004. Družicové snímky pocházejí z různých období vegetační

sezóny, proto bylo možno rovněž analyzovat funkčního chování vegetace v různé fenologické fázi.

Vliv krajinného pokryvu a vybraných stavových parametrů na teplotní obraz krajiny.

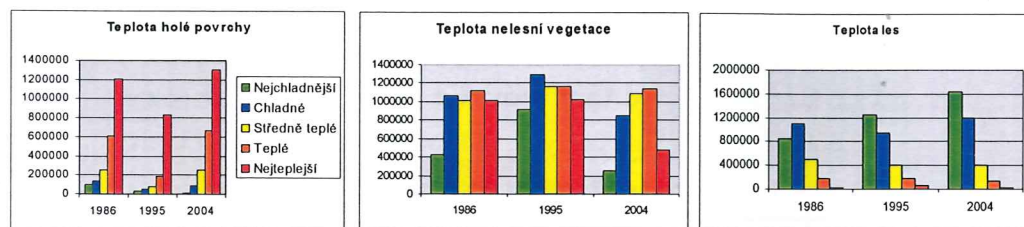
V první části práce byly vybrány parametry, zjistitelné metodami DPZ, relevantní pro hodnocení krajinných funkcí z hlediska disipace sluneční energie. Byly to informace o krajinném pokryvu, relativní teplotě (získatelné z termálního kanálu Landsatu TM6), množství zelené biomasy (korelace s Normalized Difference Vegetation Index) a vlhkost krajinného pokryvu (korelace s komponentou Wetness z transformace Tasseled Cap). Jednotlivé parametry byly hodnoceny ve vztahu ke krajinnému pokryvu. Byl rovněž analyzován jejich vliv na teplotní obraz krajiny, včetně aspektu různé fenologické fáze.

Krajinný pokryv je klíčovým parametrem v disipaci sluneční energie. K jeho hodnocení bylo využito metod řízené klasifikace, s rozdílným stupněm dosažené přesnosti. Vyhodnoceny byly čtyři základní kategorie – vodní plochy, les, nelesní vegetace a holé povrchy, případně oblačnost. Klasifikace poskytla základní vstupní předpoklady pro další hodnocení. Jednotlivé kategorie byly analyzovány z hlediska teploty, vlhkosti i množství zelené biomasy.

Lesní ekosystémy jsou kategorií krajinného pokryvu, s vysokou disipační schopností. Jsou typem porostu, který je schopen vyrovnávat teplotní výkyvy, zadržet vyšší obsah vlhkosti a tím zajišťovat efektivní disipaci sluneční energie. Pokud nejsou ovlivněny vláhovým stresem, jsou schopny udržovat nízkou teplotu

krajiny a vytvářet kondenzační místa. **Nelesní vegetaci** lze řadit spíše do kategorie nízké disipační schopnosti. Ve většině případů se jedná o zemědělské, suchomilné plodiny, které trpí silným vláhovým stresem, což se následně projevuje vysokou teplotou. Příznivějším chováním se vyznačují některé trvalé travní porosty, zvláště vlhké louky a mokřady. **Holé povrchy** víceméně přispívají k vysoké teplotě krajiny. Tento fakt většinou nedokáže ovlivnit ani jejich případná vyšší vlhkost. Určitý pozitivní vliv na teplotní obraz může mít i malé množství mrtvé biomasy.

Graf 1a-c Rozložení relativních teploty podle kategorií krajinného pokryvu



Koncentrace chlorofylu ve vegetaci je indikátorem fotosyntetické aktivity vegetace. **Index NDVI**, který s množstvím chlorofylu koreluje, bývá dáván do souvislosti s teplotními charakteristikami krajiny a ovlivňuje poměr tepla a latentního tepla v krajině. Závislost obou faktorů však ovlivňují další podmínky, především typ krajinného pokryvu. Lesní porosty (především jehličnaté) často vykazují, v porovnání s některými typy nelesní vegetace, nižší hodnoty NDVI, a rovněž výrazně nižší teplotu. Nelze proto uvažovat pouze nepřímou závislost, kdy při rostoucí hodnotě indexu NDVI se bude snižovat relativní teplota. Výsledky práce ukazují, že tato závislost s výjimkami platí pouze pro nelesní vegetaci. Tento předpoklad potvrdila korelační

i maticová analýza koincidence teploty a indexu NDVI.

Ze stejných analýz vyplývá, že **vodní obsah** v krajinném pokryvu, v porovnání s parametrem zelené biomasy, má větší vliv na teplotní obraz krajiny. S vyšším vodním obsahem, vzrůstá evapotranspirace, tím je příznivější poměr latentního tepla a vlastní tepelné složky. Toto se projevuje nižší relativní teplotou krajinného pokryvu.

Tabulka 1 Pearsonův korelační koeficient R – vztah NDVI a teploty

	1986	1995	2004
Holé povrchy	-0,3	-0,5	-0,38
Les	0,04	0,02	-0,13
Nelesní vegetace	-0,5	-0,46	-0,46
Celý obraz	-0,4	-0,61	-0,71

Tabulka 2 Pearsonův korelační koeficient R pro vztah vlhkosti krajinného pokryvu a teploty

	1986	1995	2004
Holé povrchy	-0,09	-0,21	-0,46
Les	-0,29	-0,36	-0,26
Nelesní vegetace	-0,42	-0,44	-0,43
Celý obraz	-0,52	-0,52	-0,71

Metoda hodnocení disipační schopnosti krajiny

Hlavním cílem práce bylo vytvoření metody, založené na využití multispektrálních družicových dat a disipační teorii, umožňující rychlou analýzu a diagnózu krajinných funkcí, pro velké územní celky. Základem hodnocení byla integrace teplotního obrazu a informace o kvalitativních vlastnostech krajinného pokryvu (Obr. 2), jež byla získána vytvořením indexu wetness—biomass WB. Pomocí tohoto indexu, který byl vytvořen součtem indexů NDVI a Wetness, lze detekovat případný vodní vegetační stres, v jehož důsledku dochází ke snížení disipační schopnosti krajiny.

$$WB = NDVI + WETNESS \quad (1.1.)$$

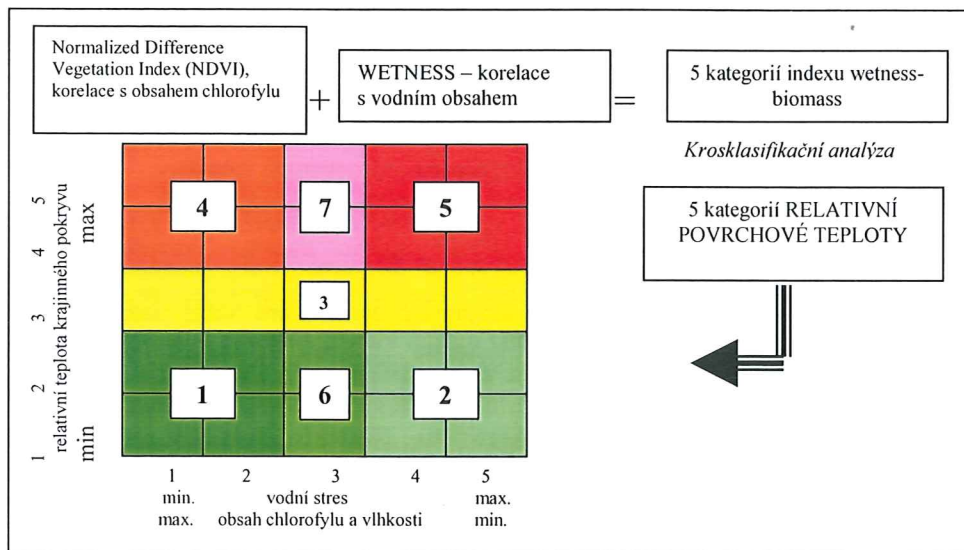
$$WETNESS = 0,1509 TM1 + 0,1793 TM2 + 0,3299 TM3 + 0,3406 TM4 - 0,7112 TM5 - 0,4572 TM7$$

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$

Pozn. Hodnoty platí pro Landsat 5

Na základě krosklasifikační analýzy obou obrazů bylo vymezeno sedm kategorií, podle nichž lze charakterizovat disipační schopnost krajiny a následně i její vývoj. Vymezené disipační krajinné typy charakterizují krajinu z hlediska toho, jakým způsobem v ní dochází k přeměně sluneční energie. Navržena metoda zohledňuje všechny tři základní parametry – teplotu, zelenou biomasu a vlhkost krajinného pokryvu. Význam spočívá v analýze fungování různých typů krajinného pokryvu s ohledem na jeho kvalitativní vlastnosti, což nelze získat pouhým hodnocením teplotního obrazu.

Obr. 2 Schéma postupu, podle něhož byla sestavena metoda hodnocení disipační schopnosti krajiny



Kategorie 1 zahrnuje lokality v krajině s hustou vegetací (vysokým množstvím zelené biomasy), vysokým vodním obsahem a nízkou teplotou. Tato místa jsou schopna vyrovnávat lokální i časové

tepelné rozdíly, zadržovat vodu a přes evapotranspiraci účinně disipovat sluneční energii. V krajině by měly zaujímat co největší plochy, či alespoň v co nejvyšší míře fragmentovat plochy kategorií 4, 5, 7. Tato kategorie je představována především lesními komplexy (jehličnatými i listnatými), u kterých se však neprojevují příznaky působení stresových faktorů. Lesy Krušných a Doupovských hor a Děčínské vrchoviny jsou, v dnešní době, trvalou a funkční vegetací, zvyšující disipační schopnost celého regionu. V průběhu hodnocených osmnácti let se však jejich funkční význam výrazně změnil. Zařazení (především vrcholové části Krušných hor) do této disipační kategorie umožnilo až podstatné zlepšení zdravotního stavu smrkových porostů (rok 2004). Listnaté lesy se obecně jeví jako méně náchylné ke stresovým faktorům, proto jsou víceméně ve všech třech sledovaných termínech řazeny do této kategorie. Výjimku může představovat počátek vegetačního období. Do kategorie 1 lze rovněž zařadit některé typy nelesní vegetace, a to především rašeliniště a vlhké louky (Krušné hory), dále i rozptýlenou zeleň v kombinaci s trvalými travními porosty. Funkční význam tohoto typu krajinného pokryvu se však, v porovnání s lesními porosty, mění s fenologickou fází a dostupností vody. Dalšími příklady pozitivního vlivu lesních porostů je oblast Džbánů (rok 1986 a 2004) a především oblast Českého středohoří. České středohoří, vzhledem k heterogenitě a struktuře krajinného pokryvu, představuje území se zastoupením různých disipačních krajinných typů. Centrální část, s mozaikou lesních a trvalých travních porostů lze řadit mezi typ, schopný účinně disipovat sluneční energii, ve prospěch latentní složky. Tento region

dobře vystihuje pozitivní vliv heterogenní krajiny. Ačkoli lesy zde netvoří výrazné homogenní celky, jejich fragmentace a relativně rovnoměrná distribuce umožňuje pozitivně vyrovnávat teplotní obraz, a to i přes skutečnost, že celá oblast patří v rámci České republiky k velmi teplým regionům. Obdobným příkladem heterogenní krajiny je Sasko. Lesní porosty tvoří kompaktnější celky v oblasti saské části Krušných hor, směrem do vnitrozemí jsou fragmentovány a rovnoměrně rozloženy po celém území. Saská část lesních porostů Krušných hor nevykazuje víceméně v žádném hodnoceném termínu příznaky teplotně vlhkostního stresu. Ve všech třech termínech převládají dlouhodobě stabilní plochy (lesní a trvalé travní porosty), schopné účinně disipovat sluneční energii a udržovat nízkou teplotu krajiny. Na zvýšení disipačního potenciálu krajiny má vliv i útlum hospodářských aktivit. Příkladem je území Doupovských hor. Vlivem růstu podílu rozptýlené zeleně a trvalých travních porostů (rok 2004) zde došlo k výrazné fragmentaci disipačně negativních ploch, které v předchozích termínech tvořily poměrně homogenní plochy a spolu s lesními porosty tvoří významný potenciál regionu. Zemědělsky využívané plochy spadají do kategorie 1 ve výjimečných případech. Většinou se jedná o plochy uměle zavlažované. Jejich výskyt je vázán především na vrcholné fáze vegetačního období (max. biomasy). V zájmovém území byly zjištěny v termínu 1995 ve východní části Dolnooharské tabule, ve všech třech termínech se vyskytují rovněž na území Saska.

Kategorii 2 lze považovat za relativně funkční krajinný typ, který se rovněž podílí na udržování nízké teploty. Odlišnost oproti

předchozímu typu spočívá v nízkém množství zelené biomasy, nižšímu vláhovému obsahu až vodnímu stresu (nemusí být pravidlem). I přes to dokáže v krajině fungovat jako účinná kondenzační jednotka. Na sledovaném území jsou do této kategorie zařazeny:

- lesy, u kterých se projevily příznaky vodního stresu: svahy saské strany Krušných hor (1986, 1995) a jejich vrcholová část (1986, 1995) i úpatí (1995), Děčínská vrchovina (1995), menší lesní komplexy v oblasti Dolnooharské tabule (1995), Doupovských hor (1986), Českého středohoří (1995)
- trvalé travní porosty a rozptýlená zeleň, často přiléhající k lesním komplexům, v závislosti na fenologické fázi: Sasko (2004), v menším rozsahu Doupovské hory a Džbán (1986, 1995, 2004), České středohoří (1995, 2004), Krušné hory (2004)
- zemědělsky využívané lokality – Sasko (1986, 1995, 2004)
- zákal v centrální části snímku, v levém horním a pravém dolním rohu (1986), který se s dostupnými prostředky nepodařilo ze snímku odstranit

Kategorie 3 je přechodným typem. Zahrnuje lokality:

- se střední kategorií teploty a nízkým podílem zelené biomasy, případně i vlhkosti (např. některé povrchy s velmi řídkou vegetací, zemědělské plodiny pod působením vláhového stresu)
- se střední kategorií teploty a vyšším podílem zelené biomasy i vlhkosti (lesní i trvalé travní porosty, zemědělské plodiny)

Rozšíření této kategorie je relativně rovnoměrné na celém sledovaném území. Většinou nezahrnuje zcela holé povrchy. U

lesních porostů indikuje působení vláhového stresu (Džbán a Děčinská vrchovina 1995, vrcholová část Krušných hor 1986 a 1995). Pozdní fázi vegetačního období je charakteristická pro trvalé travní porosty a rozptýlenou zeleň (termín 2004), čímž se výrazně odlišuje od zemědělských plodin, které se v této době již vyznačují silným teplotně-vláhovým stresem. Ty do kategorie 3 spadají většinou ve vrcholné fázi vegetačního období – termín 1995.

Kategorie 4 zahrnuje lokality charakterizované vysokým podílem zelené biomasy i vlhkostí, zároveň i vysokými hodnotami povrchové teploty. Tuto kategorii tedy nelze počítat mezi funkční krajinné typy, neboť nesplňuje požadavky disipačního poměru tepla a latentního tepla. Zastoupení této kategorie v krajině je ovlivněno fenologickou fází. S poklesem zelené biomasy i vlhkosti, směrem ke konci vegetačního období, se její zastoupení snižuje. Výskyt je vázán především na oblast Mostecké pánve a Dolnooharské tabule (především termín 1995, 1986). Tyto regiony jsou dlouhodobě vystavené teplotně vlhkostnímu stresu. Zemědělské plodiny, nejsou schopny, i přes vysoký podíl biomasy, účinně disipovat sluneční energii, neboť jsou vystaveny silnému vodnímu stresu a přispívají k vysoké teplotě krajiny.

Kategorii 5 představují většinou lokality bez funkčního vegetačního pokryvu. Tyto plochy přispívají k otevřenosti vodního cyklu, intenzita evapotranspirace je velmi nízká. Z hlediska disipace sluneční energie to znamená růst podílu vlastní tepelné složky na úkor latentního tepla. Toto vede ke zvýšení teploty krajiny a tepelných výkyvů a zároveň k rychlejšímu odnosu i rozkladu látek.

Jedná se především o holé povrchy – sídla, průmyslové areály a jiné technogenní plochy, povrchové doly a výsypky (oblast Mostecké pánve). Do této kategorie spadají i zemědělsky využívaná území na počátku či konci vegetačního období (po sklizni), či odvodněné trvalé travní porosty s vegetační stařínou (termín 1986 Krušné a Doupovské hory). Extrémním případem jsou regiony Dolnooharské tabule a Mostecké pánve. Území je názorným příkladem negativního vlivu zemědělského hospodaření – velká rozloha jednotlivých bloků orné půdy, s absencí trvalé vegetace, která by byla schopna vyrovnávat negativní vlivy, způsobené intenzivním využitím území. V zemědělské krajině tak převažuje vlastní tepelná složka nad latentní, doprovázená zrychleným odnosem i rozkladem látek. V krajině neexistují kondenzační místa, což vede k otevření malého vodního cyklu a úplné ztrátě chladicí schopnosti. Drobné lesní komplexy, převážně lemující vodní toky a rozptýlená zeleň netvoří, v porovnání s rozlehlými bloky zemědělské půdy, takové plochy, které by byly schopny negativní vlivy okolí vyrovnávat. Patrné je to zejména na situaci 2004. Pokud porovnáme jednotlivé termíny znázorňující disipační typy krajiny, není zde téměř žádný rozdíl mezi oblastí báňské činnosti v Mostecké pánvi a zemědělsky využívaným regionem Dolnooharské tabule. Ačkoli je oblast Mostecké pánve považována za nejvíce poškozenou krajinu v České republice, díky postupným rekultivačním zásahům dochází k pomalému zlepšování. Na rozdíl od území báňské činnosti struktura a funkce zemědělské krajiny Dolnooharské tabule vykazuje spíše negativní vývojové trendy, bez možnosti zlepšení (vliv dotační zemědělské politiky EU).

Do kategorie 5 rovněž spadají poškozené lesní porosty. V roce 1986 se projevil kritický stav poškození vlivem oxidu siřičitého, nejen na východní straně Krušných hor a ve vrcholových částech, ale rovněž v oblasti Děčínské vrchoviny. Situace v roce 1995 již vykazuje mírné zlepšení na některých lokalitách, ve vrcholové části však přetrvává působení teplotně-vlhkostního stresu.

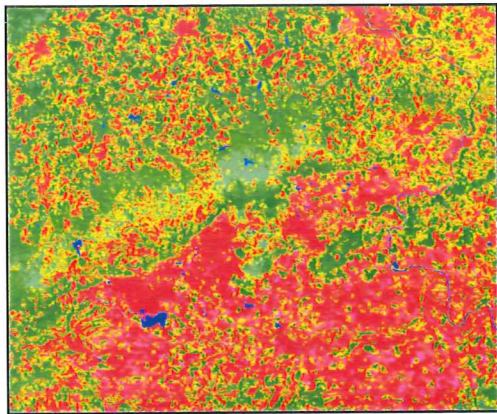
Region Saska představuje dobře strukturovanou krajinu, jež nebyla intenzivně zemědělsky využívána. Proto se rozloha případných ploch orné půdy značně odlišuje od velikosti výměry na české straně. V porovnání s českým územím se zde téměř nevyskytují plochy, které by trvale spadaly do kategorií s negativním potenciálem. Pokud ano, tvoří nepříliš rozsáhlé a zároveň fragmentované plochy. Oproti české části hodnoceného území se však v regionu Saska projevuje vzrůstající negativní vliv městských tepelných ostrovů (především Chemnitz a Drážďany) na své okolí (termín 2004). Na území České republiky se tento trend na snímcích neprojevuje, neboť většina větších sídel a aglomerací se nachází v území postiženém vysokým teplotním stresem (Dolnooharská tabule a Mostecká pánev) a zcela tak splývá s okolím.

Kategorie 6 je pozitivním přechodným typem. Je charakterizována středním podílem zelené biomasy a vlhkosti a nízkou teplotou, bez výraznějšího ovlivnění fenologickou fází. Ve většině případů se jedná o jehličnaté lesní porosty, u nichž se příliš neprojevuje teplotně-vlhkostní stres (termíny 1986 a 1995 Krušné hory, České středohoří, Doupovské hory, Děčínská vrchovina). Do této kategorie (termín 2004) lze rovněž zařadit trvalé travní porosty,

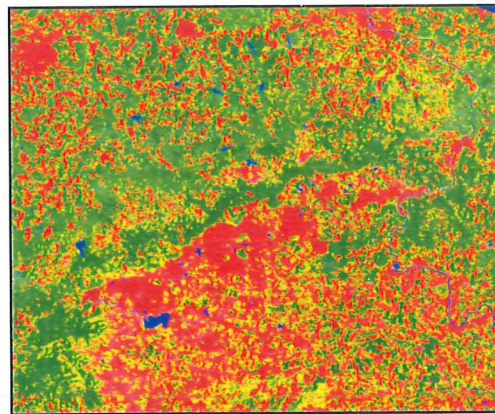
rozptýlenou zeleň (přechodová společenstva les – trvalé travní porosty), rašeliniště a mokřady především v oblasti Krušných a Doupovských hor, dále v oblasti Džbánů, Saska i Českého středohoří.

Kategorie 7 je negativním přechodným typem, s vysokou teplotou. Od kategorie 4 se liší pouze středním podílem zelené biomasy a vlhkosti. Je zastoupena ve většině případů nelesní vegetací, především zemědělsky využívanými plochami, rovněž charakterizuje poškozené lesní porosty (Krušné hory 1986 a 1995).

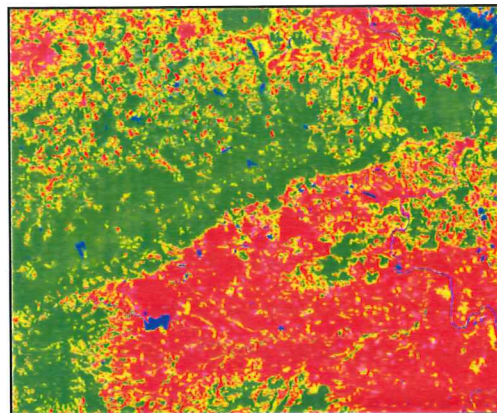
Data DPZ a použité základní metody jejich zpracování prokázaly, že navržená metoda poskytuje objektivní, poměrně rychle zjistitelnou diagnózu krajiny, kterou nelze se stejnou podrobností, porovnatelností a přesností získat pozemním průzkumem. I přes určité limity, představují data dálkového průzkumu Země nepostradatelný nástroj v krajinné ekologii. V dnešní době jsou velmi diskutovaným tématem globální změny klimatu. Ve většině případů (IPCC, atd.) jsou tyto změny dávány zejména do souvislosti se zvyšováním množství skleníkových plynů v atmosféře. Většina přístupů však zcela opomíjí význam trvalé a funkční vegetace v krajině. Člověk svou činností ovlivňuje své prostředí. Především intenzifikace zemědělství a urbanizace má značný podíl na narušení energomateriálových toků. Podle prokázaných výsledků, lze navrácením trvalé a funkční vegetace do krajiny, a to již na lokální úrovni, příznivě ovlivňovat teplotu a s tím spojený malý oběh vody a následně ovlivnit i klima na úrovni globální.



Obr. 3a Rok 1986



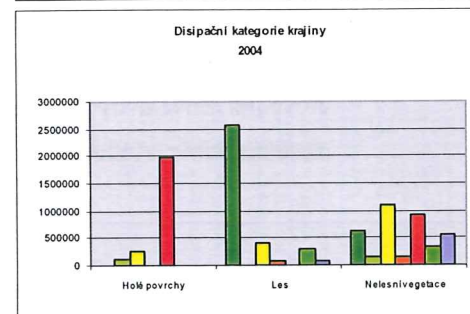
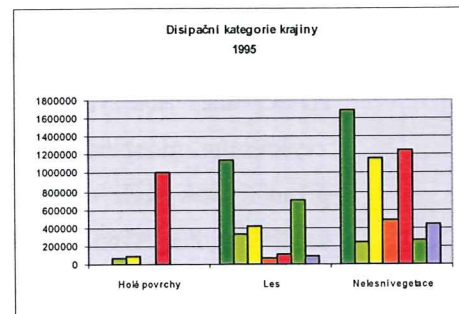
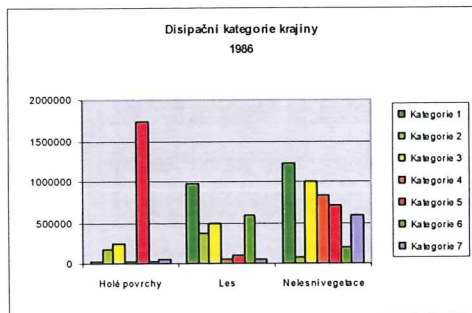
Obr. 3b Rok 1995



Obr. 3c Rok 2004



Graf 2a-c Disipační kategorie podle kategorií krajinného pokryvu



ABSTRACT

Landscape is a complex system with different functions. There are many approaches how to describe landscape functioning. Many of them have been described in the introductory part of the thesis. Energy-transport reaction model by W.Ripl (1995) is one of them and deals with the dissipation of the daily energy pulse seasonally modulated by water and matter loss within the landscape. Dissipation could be understood in accordance with Prigogine's theory of dissipative structures and self-organization of ecosystems, as a transformation incident solar radiation into other forms of energy. The green vegetation performs the indispensable role within the process. The solar radiation is bounded by the photosynthesis and consequently by transpiration efficiently transformed into latent heat. Maximal dissipation of this energy is considered to be a basic ecologic function of the landscape.

The land cover temperature and its amplitudes are indicators, determining the balance between water cycling, energy and matter flows within the landscape. There are both direct and indirect effects of temperature on water cycle (rainfall distribution and intensity, its source, water quality, aquifer level), local and global climate (circulation systems, wind, convection flows, and air humidity), and matter loss.

Land cover type, its structure and condition (e.g. chlorophyll content and wetness) affect the temperature and its distribution. Depending on these parameters, the functional landscape dissipates solar energy mainly via evapotranspiration – ideally 80% is



transformed into latent heat that not contributes to rise in temperature. The amplitude is low, as well as the matter loss.

To determine energetic efficiency of landscape and the way, how it is dissipated, multispectral and thermal remote sensing data from Landsat TM and ETM+ could be use. Channel TM6 (10,4 – 12,5 μm) scan thermal radiance of Earth's surface, with a spatial resolution 120m, 90m eventually. The main significance is that there is no need of data interpolation and in addition the real (kinetic) temperature could be derived as well.

In conformity with the ETR model background and possibilities of digital remote sensing data processing, the thesis objectives were determined. Heterogeneity of model area of North Bohemia and part of Saxony provided a great potential to demonstrate functioning of different landscape types – nearly natural landscape on one hand and the areas extremely exploited on the other. Three Landsat TM scenes from 1986, 1995 and 2004 were chosen. The time span of eighteen years enabled to evaluate landscape changes and dynamics. The images were acquired on different parts of vegetation season (May, July and August), so to analyze vegetation functioning in different phenological phases.

As first step parameters, relevant to dissipative theory, as well as detectable from remote sensing data and by their digital processing, were chosen. To be specific - information about land cover, relative surface temperature (extracted from Landsat TM6 channel), green biomass (correlation with Normalized Difference Vegetation Index) and wetness of land cover (correlation with the third component

Wetness from Tasseled Cap transformation). All parameters were evaluated within the relationship to three basic land cover types (bare grounds, non-forest vegetation and forests), as well as their influence upon relative temperature, taking into account the effect of different phenological phase.

This work contributes to the landscape functioning assessment. The objective was to develop method, based on dissipative theory and multispectral Landsat processing, that will enable prompt analysis and diagnosis of landscape functions, of large areas. The principle of this method is based on integration both thermal image and the information about land cover quality that was derived from newly designed wetness-biomass index WB. This index, which was counted as a sum of NDVI and Wetness component (1.1), detect potential vegetation water stress. Its low values indicate lowered dissipation ability of landscape. Cross-classification analysis of both images (temperature and WB index) defined seven categories (Fig.1), according to which dissipation ability of the landscape could be characterized.

Determination of dissipation types characterize the landscape (Table 1), according the way how the solar energy is dissipated (obr. 3). One side of classification scheme (category 1) is performed by the landscape with high amount of green biomass and water content, without thermal-water stress, that is able to dissipated main part of incident solar radiation via evapotranspiration into latent heat. Such maximal functioning landscape type is represented e.g. by healthy forests, wetlands or wet meadows and by lowest temperature values.

The other part of suggested classification (category 5) is characteristic by high water deficit, absence of green vegetation and prevailing sensible heat. Such a landscape type is not desirable. In dependence on land cover type could be stand for either bare grounds or in some cases agriculture areas and crops.

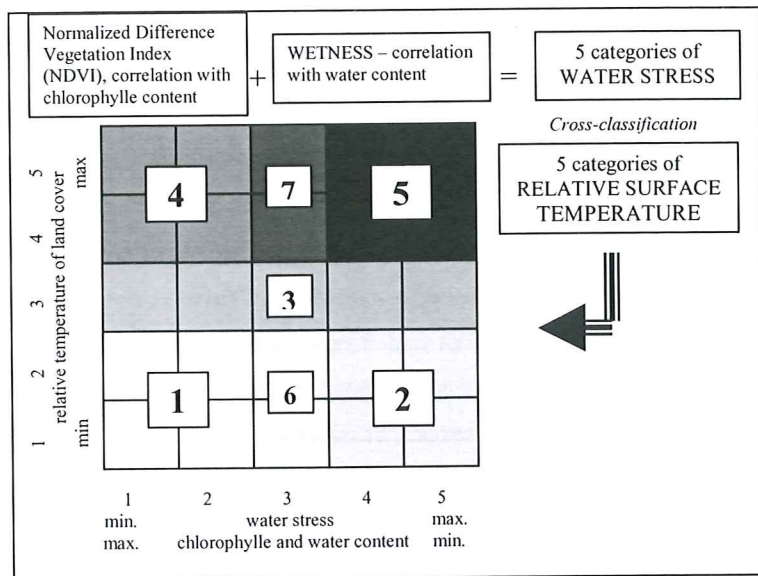


Fig. 1 The scheme of method assessing landscape dissipation ability

It can be concluded from this work that forest ecosystems are characterized by high dissipation ability. This vegetation type is able to balance temperature amplitudes, keep higher humidity and effective dissipation of solar energy. If there is no influence of water stress, they maintain low temperature. Non-forest vegetation is classified as a type with lower dissipation ability. In most cases is represented by xerophilic crops, prone to thermal - water stress.

Table 1. Dissipation categories of landscape	
Category 1	High amount of green biomass, wetness, low temperature. „Condensation units“ within landscape, able to balance local and temporal temperature amplitudes, retain water and via evapotranspiration dissipate solar energy effectively. E.g. forests ecosystems, wetlands
Category 2	Low temperature, green biomass and wetness (not in all cases) E.g. deciduous forests, shrubbery in early phenological phases, very wet surfaces with low amount of green biomass, vegetation in first stage of water stress
Category 3	Middle categories of temperature, biomass and wetness
Category 4	High temperature, green biomass and wetness; mainly crops, agriculture areas
Category 5	Localities without functional vegetation cover, high water stress. Such areas contribute to openness of small water cycle, very low evapotranspiration rate. In terms of solar energy dissipation it leads to predominance sensible heat over latent heat, landscape temperature and its amplitudes increase, and acceleration of matter loss. Bare grounds, agriculture areas.
Category 6	Positive transition type. Middle amount of green biomass and wetness, low temperature; evergreen forests
Category 7	Negative transition type. Middle amount of green biomass and wetness, high temperature; crops, agriculture areas

Positive behavior is typical only for wetlands and wet meadows. Bare grounds are characterized by the lowest dissipation ability. This negative effect could be reduced even with a small amount of dead biomass; higher humidity does not have required positive impact.

Bare grounds are not represented only by urban and industrial areas, but by arable land as well. Intensive agriculture areas have presented as a highly devastated landscape, characterized by large

heat islands. The similar response is typical for surface mining areas, industrial zones and agglomerations. In contrast to agriculture, those do not extend on such large areas; in some cases reclamation processes try to restore the functional landscape again. Resulting from the work, the fragmentation of large fields or inhibition managing activities could contribute to improve landscape functioning. Removing permanent and functional vegetation from the landscape causes its heating, drainage and degradation. The example do not have to be only desertified areas in subtropics, but the intensive agriculture land in Dolnooharská table as well. Restoration of permanent and functional vegetation will reduce the temperature and close small water cycle at the local level. Unfortunately most climate models of global change (e.g. IPCC) do not consider vegetation as an aspect that could influence global climate as well.

Remote sensing data and methods of their processing provided the evidence that the suggested method of dissipation ability of landscape provides objective and fast diagnosis that cannot be, with the same precision and details, acquired by the field work and measurements. Despite the limits, that have been also discussed, remote sensing data should be considered as an essential method in landscape ecology.

Seznam použité literatury

References

1. BENDORICCHIO, G. – JØRGENSEN, S.E. Exergy as goal function of ecosystems dynamics. *Ecological Modelling*, 1997, vol. 102, no. 1, s. 5 – 15.
2. BOEGH, E. et al. A Remote Sensing Study of the NDVI–Ts Relationship and the Transpiration from Sparse Vegetation in the Sahel Based on High-Resolution Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*, 1999, vol. 65, s. 224 - 240.
3. CAPRA, F. *Tkáň života*. Praha: Academia, 2004. 290 s.
4. DOBROVOLNÝ, P. *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 1998, 208 s.
5. HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 1973, vol. 24, s. 519 – 570.
6. JENSEN, J.R. *Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*. New Jersey: Prentice Hall, 1986, 379 s.
7. LILLESAND, T.M. – KIEFER, R.W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley & Sons, 2000, 724 s.
8. LUVALL, J.C. – HOLBO, H.R. Measurements of short term thermal responses of coniferous forest canopies using thermal scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 1989, vol. 27, no. 1, s.1 – 10.
9. NEMANI, R. et al. Developing satellite derived estimates of surface moisture status. *Journal of Applied Meteorology*, 1993, vol. 32, no. 3, s. 548–557.
10. PENUELAS, J. – FILELLA, I. Visible and near- infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science*, 1998, vol. 3, no. 4, s. 151 – 156.
11. POKORNÝ, J. Dissipation of solar energy in the landscape – controlled by management of water and vegetation. *Renewable energy*, 2001, vol. 24, s. 641 – 645.
12. PRIGOGINE, I. – GLANSDORFF, P. *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*. New York: J. Wiley, 1971, s.452.

13. PROCHÁZKA, J. - HAKROVÁ P. - POKORNÝ J. - PECHAROVÁ E. - HEZINA T. - ŠÍMA M. – PECHAR, L. Effect of different management practices on vegetation development, losses of soluble matter and solar energy dissipation in three small sub-mountain catchments. - In: Vymazal J. (ed.) *Transportations of Nutrients in Nature and Constructed Wetlands*, Backhuys Publishers, Leiden, 2001, s. 143-175.
14. RIPL, W. Management of water cycle and energy flow for ecosystem control: the energy-transport-reaction (ETR) model. *Ecological Modelling*, 1995, vol. 78, s. 61 - 76.
15. RIPL, W. Water: the bloodstream of the biosphere. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 2003, vol. 358, no. 1440, s. 1921-1934. [online] [cit. 2008-08-21] <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1693288>
16. RIPL, W. Funktionale Landschaftsanalyse im Albert Rothschild Wildnisgebiet Rothwald. *Study*. 2004, System Institut Aqua Terra / TU-Berlin, Hellriegelstr. 6, 14195 Berlin.
17. RIPL, W. – HILDMANN, CH. Dissolved load transported by rivers as an indicator of landscape sustainability. *Ecological Engineering*, 2000, vol. 14, no. 4, s. 373 – 387.
18. SCHNEIDER, J. – KAY, J.J. Life is a manifestation of the second law of thermodynamics. *Math. Comput. Model.*, 1994a, vol. 19, no.6-8, s.25-48.
19. SVIREZHEV, Y.M. Thermodynamics and ecology. *Ecological Modelling*, 2000, no. 132, s. 11 – 22.
20. ŠÍMA, M. – POKORNÝ, J. Detekce a hodnocení vývoje rekultivačního území MUS a.s. pomocí družicových dat Landsat z let 1991-2000. - *Výzkumná zpráva*, 2004, 12 s. + 7 příloh, ENKI o.p.s., Třeboň
21. ŠÍMA M. - POKORNÝ J. Detekce a hodnocení vývoje rekultivačního území MUS a.s. pomocí družicových dat Landsat z let 1991-2005. II. Část – rozšíření o období 2000-2005. - *Výzkumná zpráva*, 2006, 13 s. + 9 příloh, ENKI o.p.s., Třeboň