

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

DISERTAČNÍ PRÁCE

**Změny a vývoj fyzikálních a chemických charakteristik prostředí
v závislosti na změnách a vývoji krajinného pokryvu a land use.**

Ing. Václav Nedbal

2015

Školitel: doc. RNDr. Libor Pechar, CSc.
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zemědělská fakulta

Děkuji vedoucímu disertační práce, doc. RNDr. Liboru Pecharovi, CSc. za pomoc a rady, které mi poskytoval v průběhu doktorského studia.

Dále děkuji doc. Ing. Jakubu Bromovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při řešení této práce.

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění a za pomoci literatury, kterou v práci uvádím.

V Litoměřicích dne 29.9.2015

.....
Ing. Václav Nedbal

Obsah

Souhrn	5
Summary	6
Předmluva	7
<hr/>	
1. Úvod	9
2. Materiály a metody	12
3. Studie	21
3.1. Vývoj funkčních parametrů povrchu hnědouhelné výsypky	21
3.1.1. Popis lokality	21
3.1.2. Popis dat a jejich zpracování	22
3.1.3. Výsledky	23
3.1.4. Diskuze	26
3.1.5. Závěr	28
3.2. Vliv výstavby dálnice na energetické parametry povrchu	29
3.2.1. Popis lokality	29
3.2.2. Popis dat a jejich zpracování	30
3.2.3. Výsledky	34
3.2.4. Diskuze	38
3.2.5. Závěr	44
3.3. Vliv vegetace na energetickou bilanci povrchu arktické tundry	45
3.3.1. Popis lokality	45
3.3.2. Popis dat a jejich zpracování	46
3.3.3. Výsledky	47
3.3.4. Diskuze	48
3.3.5. Závěr	51
4. Shrnutí a závěr	53
5. Literatura	54
6. Přílohy	62
6.1. Separát publikace "Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis"	62
6.2. Seznam všech autorových publikací a přednášek	71

Souhrn

Tato práce se zabývá vlivem vegetace na funkční parametry a energetické toky povrchu krajiny a využitím metod dálkového průzkumu Země pro možnosti jejich stanovení. Byly provedeny tři studie vlivu vegetace na parametry povrchu krajiny. První studie ukázala vliv rekultivací a přirozené obnovy vegetace na vlhkost a teplotu povrchu hnědouhelné výsypky. Změny v množství vegetace se projevily kolísáním teploty povrchu v rozsahu až 18 °C. Druhá studie ukázala vliv výstavby dálnice na energetické toky povrchu krajiny. Prokázala vliv výstavby dálnice ve smyslu úbytku výparu vody ve výši průměrně 33 m³ vody v průběhu jednoho letního dne na každém kilometru délky dálnice a jejího okolí. Zároveň to znamená snížení chladicího efektu vegetace, vyjádřeném ve snížení množství toku latentního tepla výparného v průměru o 22,5 MWh za jeden letní den na každém kilometru délky dálnice a jejího okolí. Vliv výstavby dálnice se nedá zcela vyloučit ještě v 90 m kolmé vzdálenosti od její osy. Třetí studie ukázala vliv nízké arktické vegetace na energetické toky a teplotu povrchu půdy. Mezi povrchem s nízkou vegetací a povrchem bez vegetace byl zjištěn rozdíl teploty až 16 °C, který lze přičíst ochlazovacímu účinku transpirace rostlin a evaporace z povrchu. Pro všechny studie byly použity přístupy stanovení funkčních parametrů povrchu a prvků energetické bilance s pomocí multispektrálních satelitních snímků a metod dálkového průzkumu Země. Studie ukazují na významný vliv vegetace na funkční parametry povrchu Země a jeho energetické poměry.

Summary

This work deals with impact of vegetation on functional parameters and energy fluxes of land surface and with application of remote sensing methods for these purposes. Three studies evaluating impact of vegetation on functional parameters and energy fluxes of landscape surface were done. The first one showed impact of brown coal dump reclamation and natural succession on surface moisture and surface temperature. Changes in amount of vegetation resulted in surface temperature fluctuations in a range of at least 18 °C. The second study showed impact of highway construction on energy fluxes of landscape surface. The study showed that highway construction resulted in decrease of evaporated water in amount of 33 m³ per each kilometer of highway path in one summer day. This represents loss of surface cooling effect in amount of 22,5 MWh of latent heat flux per each kilometer of highway path in one summer day. Impact of highway construction in this meaning cannot be fully avoided even in 90 m buffer zone of highway axis. The third study showed impact of low arctic vegetation on energy fluxes and temperature of soil surface. The difference of at least 16 °C between surface with low arctic tundra vegetation and bare land was found as a result of cooling effect of plant transpiration and evaporation from vegetation surface. All the three studies were made using multispectral satellite images and methods of remote sensing of environment for calculation of functional parameters and energy balance of land surface. The studies show significant impact of vegetation on functional parameters and energy balance of landscape surface.

Předmluva

Ve své disertační práci se věnuji problematice energetiky povrchu Země, rozdělení toku sluneční energie do jednotlivých energetických toků na povrchu Země, úloze vegetace v rozdělení těchto toků a možnostem využití dálkového průzkumu Země pro jejich stanovení.

Práce je rozdělena do čtyř částí. Úvodní část stručně shrnuje danou problematiku a vytyčuje cíle práce. Druhá, metodická část popisuje obecné principy práce s použitými daty. Třetí část obsahuje tři studie hodnocení funkčních parametrů a energetických toků povrchu Země na různých lokalitách. Čtvrtá část velmi stručně shrnuje poznatky ze všech tří studií. Pro všechny tři studie byly použity principy, popsané v předchozí metodické části. V každé z těchto tří studií je zároveň popsán konkrétní postup zpracování dat z dané lokality. Každá studie obsahuje samostatně podrobnou diskuzi a závěry. Studie jsem zpracoval samostatně, vlastním sběrem, analýzou a vyhodnocením dat i formulováním závěrů na základě svých zjištění, s přispěním rad a některých přístupů, navržených doc. Ing. Jakubem Bromem, Ph.D., konzultantem práce.

První studie se zabývá vlivem odstranění vegetace a vlivem rekultivací na základní funkční parametry povrchu Země na vnější výsypce hnědouhelného povrchového lomu (Velká Podkrušnohorská výsypka, Sokolovsko). Studie byla podpořena granty Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky č. 6007665806 a 2B08006 a grantem Národní agentury zemědělského výzkumu České republiky č. QH82106. Studie byla publikována v impaktovém periodiku, publikace je přílohou této disertační práce.

Druhá studie se zabývá vlivem výstavby dálnice na funkční a energetické parametry povrchu Země a vlivem této výstavby na širší okolí dálnice (dva úseky dálnice D8, střední Čechy). Studie byla podpořena Grantovou agenturou Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích GAJU 070/2013/Z.

Třetí studie se zabývá vlivem vegetace na funkční a energetické parametry povrchu Země v arktické oblasti (Špicberky). Studie proběhla v rámci kurzu Polární ekologie, který probíhal na Centru polární ekologie Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a který byl jako projekt č. CZ.1.07/2.2.00/28.0190 spolufinancován z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.

1. Úvod

V našich zeměpisných šířkách může množství dopadající sluneční energie v letních měsících dosáhnout v poledních hodinách až 1 kW m^{-2} (Pokorný 2001). V průběhu letního dne tak zde na zemský povrch dopadne až 6 kWh m^{-2} sluneční energie (Kravčík et al. 2007). V jihovýchodní části České republiky činí průměrný červnový měsíční úhrn slunečního záření 580 MJ m^{-2} (Tolasz et al. 2007), po přepočtu činí tedy červnový denní úhrn $5,37 \text{ kWh m}^{-2}$. Je zřejmé, že i v podmínkách mírného pásu na území České republiky dopadá na zemský povrch značné množství sluneční energie, která je zde odrážena či transformována do různých energetických toků.

Rostliny mají schopnost v procesu evapotranspirace transformovat značné množství vody z fáze kapalné do fáze plynné. List zdravé rostliny může za 20-60 minut odpařit za optimálních podmínek tolik vody, kolik sám váží (Procházka et al. 1998). Kravčík et al. (2007) uvádějí, že samostatně stojící strom s průměrem koruny 10 m při dobrém zásobení vodou vypaří při letním slunečném dni až 400 l vody. Díky stomatární i kutikulární transpiraci běžných domácích dřevin s řádově stovkami průduchů na plochu 1 mm^2 listu (Penka 1985) je možné, aby u velkých vzrostlých dubů letních dosahovaly v přepočtu pro celý rok průměrné hodnoty transpirace v úhrnu pro celou rostlinu až 149 l den^{-1} (Penka 1985). Vzhledem k tomu, že k maximální evapotranspiraci dochází ve vrcholu vegetační sezony, může celá taková rostlina v jasném letním dni denně vypařit až 2 000 l vody. Schopnost výparu značného množství vody nemají pouze dřeviny. Mokřadní rákosové porosty mohou evapotranspirací převést do atmosféry objem vody až $3,2 \text{ l m}^{-2} \text{ den}^{-1}$ (Přibáň et Ondok 1985), za optimálních povětrnostních podmínek však i $6,9 - 11,4 \text{ l m}^{-2} \text{ den}^{-1}$ (Květ 1973; Rychnovská et Šmíd 1973). Některé mokřadní porosty vrbin vykázaly hodnoty evapotranspirace $2,4 - 4,8 \text{ l m}^{-2} \text{ den}^{-1}$, ostřicové porosty pak $2,2 - 4,5 \text{ l m}^{-2} \text{ den}^{-1}$ (Přibáň et Ondok 1986). Novější studie ukazují na výrazné rozdíly v množství vypařené vody mokřadními porosty, pastvinami, ornou půdou a umělými povrchy (Huryna et al. 2014). Je zřejmé, že rostliny mají schopnost i v podmínkách mírného pásu na území České republiky převádět do atmosféry v procesu evapotranspirace značné množství vody.

Výpar vody rostlinami v procesu evapotranspirace je spojen s transformací velkého množství sluneční energie (Penman 1948). Měrné skupenské teplo výparné vody činí při normálním tlaku a teplotě 15 °C cca 2 466 kJ kg⁻¹ (Procházka et al. 1998), což odpovídá přibližně 0,68 kWh l⁻¹. S užitím výše uvedených hodnot evapotranspirace a příkonu slunečního záření je možné vypočítat, že samostatně stojící strom s průměrem koruny 10 m v letním dni spotřebuje pro denní výpar 400 l vody až 272 kWh energie, tedy až 65 % celkového příkonu slunečního záření, které dopadne na plochu kolmého průmětu koruny stromu. Podobně např. u mokřadních porostů vrbin by hodnota sluneční energie využitá pro evapotranspiraci činila asi 3,3 kWh m⁻² den⁻¹, tedy přes 60 % celkového denního příkonu. Je zřejmé, že rostliny díky výparu vody v procesu evapotranspirace značně ovlivňují energetické toky na povrchu Země.

Vegetace tak hraje významnou roli v transformaci sluneční energie na povrchu Země tím, že v procesu evapotranspirace značnou část dopadajícího slunečního záření spotřebovává jako tzv. latentní teplo výparné na výpar vody (Monteith 1975; Gates 1980; Monteith et Unsworth 1990; Jones 1992). S rostoucím množstvím vegetace tak roste tok energie slunečního záření do toku latentního tepla výparného, a naopak méně energie se přesouvá do dalších energetických toků. Těmi jsou především tok tepla do půdy a tok pocitového (zjevného) tepla, kterým se zvyšuje vnitřní energie objektů na povrchu Země. Zvýšení vnitřní energie těles se projevuje zvýšením jejich teploty. Proto při dostatečném množství vegetace, a tedy relativně nižší transformaci sluneční energie do toku pocitového tepla dochází k nižšímu ohřevu povrchu Země a s ním i přilehlé vrstvy atmosféry (Pokorný 2001). Tento jev vlivu vegetace na klima je sledován jak v mezoklimatickém (Mahfouf et al. 1987; McPherson 2007; Brom et al. 2012; Hesslerová et al. 2012), tak v makroklimatickém a kontinentálním měřítku (Makarieva et Gorshkov 2010). Odstraněním vegetačního krytu dochází k omezení tohoto popsaného efektu (Hesslerová et Pokorný 2010), klesá tok latentního tepla výparného a větší část energie slunečního záření se přesouvá do toku tepla do půdy a toku pocitového tepla, což se projeví i zvýšením teploty povrchu Země, které v extrémních případech může vést až k přehřívání povrchu. Tento jev má i další souvislosti, půdní prostředí přehřátých povrchů je náchylnější k rychlé dekompozici organických látek, erozi a ztrátě živin, rychlejšímu odtoku vody (Ripl 2003), v přilehlé vrstvě atmosféry dochází ke snižování vlhkosti vzduchu (Schwartz et Karl 1990),

ve větším měřítku pak dochází ke změnám proudění velkých vzduchových hmot (Makarjeva et Gorshkov 2007).

Disertační práce pracuje s hypotézou, že vegetace svou evapotranspirací významně ovlivňuje energetické toky na povrchu Země. Práce si klade za cíl odpovědět na otázky, jaké jsou skutečné hodnoty energetických toků na větších územích v krajině, jak se liší energetické toky různých druhů povrchů v krajině, jaký vliv má množství vegetace na skutečné hodnoty energetických toků a které metody a přístupy lze pro řešení stanovení energetických toků použít.

2. Materiály a metody

Ve studiích v této práci jsou posouzeny funkční a energetické vlastnosti povrchu různých lokalit ve vztahu k přítomnosti a množství vegetace. Bylo sledováno, jak se ve vztahu ke změně množství vegetace mění ostatní funkční parametry (vlhkost povrchu, teplota povrchu) a energetická bilance povrchu (celková čistá radiace, tok latentního tepla výparného, tok tepla do půdy, tok pocitového tepla). Pro možnost určit tyto veličiny na plošně rozsáhlejších lokalitách byla využita možnost jejich výpočtu z pozemně měřených meteorologických prvků a z multispektrálních satelitních snímků.

Jako satelitní data byly použity satelitní multispektrální snímky LANDSAT 5 TM, LANDSAT 7 ETM+ a LANDSAT 8 OLI a TIRS (Copyright ESA, distributor Eurimage). Jejich senzory TM, ETM+, OLI a TIRS disponují vhodným prostorovým rozlišením a kompozicí snímaných rozsahů viditelného a infračerveného spektra, vhodnou pro provedení výpočtů (Tab. 1, 2 a 3). Satelitní snímky byly vybrány tak, aby byly prosté jakékoliv rozsáhlé oblačnosti a aby zachycovaly stav sledovaných lokalit ve vrcholu vegetační sezony (červen, červenec, srpen). Pokud se ve snímcích vyskytla drobná oblačnost nad posuzovanými lokalitami, byla vždy maskována a oblasti, kde se na satelitních snímcích vyskytla, nebyly pro výpočty použity.

Tab. 1: Charakteristika senzoru TM družice LANDSAT 5 (USGS).

kanál senzoru TM	spektrální rozlišení [μm]	prostorové rozlišení [m]
1	0,452 – 0,518	30
2	0,528 – 0,609	30
3	0,626 – 0,693	30
4	0,776 – 0,904	30
5	1,567 – 1,784	30
6	10,45 – 12,42	120
7	2,097 – 2,349	30

Tab. 2: Charakteristika senzoru ETM+ družice LANDSAT 7 (USGS).

kanál senzoru ETM+	spektrální rozlišení [μm]	prostorové rozlišení [m]
1	0,452 – 0,514	30
2	0,519 – 0,601	30
3	0,631 – 0,692	30
4	0,772 – 0,898	30
5	1,547 – 1,748	30
6	10,31 – 12,36	60
7	2,065 – 2,346	30
8	0,515 – 0,896	15

Tab. 3: Charakteristika senzorů OLI a TIRS družice LANDSAT 8 (USGS).

kanál senzoru OLI a TIRS	spektrální rozlišení [μm]	prostorové rozlišení [m]
1 OLI	0,43 – 0,45	30
2 OLI	0,45 – 0,51	30
3 OLI	0,53 – 0,59	30
4 OLI	0,64 – 0,67	30
5 OLI	0,85 – 0,88	30
6 OLI	1,57 – 1,65	60
7 OLI	2,11 – 2,29	30
8 OLI	0,50 – 0,68	15
9 OLI	1,36 – 1,38	30
10 TIRS	10,60 – 11,19	100
11 TIRS	11,50 – 12,51	100

Satelitní data byla registrována do kartografického zobrazení S-JTSK (pro studie v České republice) nebo UTM (pro studii na Špicberkách) metodou polynomické transformace rastru (Schowengerdt 2007) s použitím modulu ORTHO ENGINE softwaru PCI - GEOMATICA 9.1. (PCI Geomatics 2003). Byly provedeny radiometrické korekce s použitím přístrojových konstant satelitního senzoru. Na základě přístrojových koeficientů (offset a gain) satelitního senzoru byly přepočítány bezrozměrné DN (digital number) hodnoty pixelů v hrubých satelitních snímcích

na hodnoty spektrálních radiancí, tedy na hodnoty energie záření, dopadajícího na satelitní senzor, podle vztahu (Chander et Markham 2003):

$$L_{\lambda} = DN \cdot \text{gain} + \text{offset} \quad (1)$$

kde L_{λ} je spektrální radiance záření, dopadajícího na satelitní senzor, DN je bezrozměrná hodnota konkrétního pixelu v hrubém satelitním snímku, gain je zesilovací faktor satelitního senzoru a offset je hodnota energetické báze satelitního senzoru. Koeficienty gain a offset pro různé termíny pořízení satelitních snímků byly pro senzory TM a ETM+ publikovány (Chander et al. 2009). Pro senzory OLI a TIRS družice LANDSAT 8 byly užity přístrojové konstanty a provozní údaje, publikované nově standardně v metadatech daného satelitního snímku. Byly provedeny atmosférické korekce metodou COST (Chavez 1996). Metoda COST je rozšířenou metodou substrakce nejtmašího pixelu (Schowengerdt 2007). Navíc tato metoda zavádí korekci ovlivnění množství odraženého záření od zemského povrchu měnícím se úhlem slunečního záření, dopadajícího na povrch Země. Tento vliv je vypočítán podle vztahu:

$$T = \cos \theta \quad (2)$$

kde

$$\theta = 90^{\circ} - \delta \quad (3)$$

kde T je vliv úhlu dopadajícího slunečního záření na jeho energii, θ je úhel odchylky slunce od zenitu a δ je výška Slunce nad obzorem. Metoda COST dále zavádí i korekci absorpce záření atmosférickými plyny a korekci Rayleighova rozptylu. Uvedené radiometrické a atmosférické korekce byly provedeny v modulu ATMOSC softwaru Clark Labs - IDRISI TAIGA (Eastman 2012). Z rektifikovaných satelitních snímků byly po provedení radiometrických a atmosférických korekcí vypočteny funkční parametry povrchu a prvky energetické bilance. Vznikly tak satelitní mapy, v nichž každý pixel udává hodnotu sledovaného parametru v daném místě.

Pro výpočet energetické bilance povrchu byly vedle satelitních snímků použity i meteorologické prvky měřené pozemně, v okamžiku pořízení satelitních snímků:

teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$], relativní vlhkost vzduchu [%] a celková dopadající krátkovlnná radiace [Wm^{-2}]. Meteorologická data byla získána z databáze Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), nebo naměřena v terénu vlastní meteostanicí.

S užitím uvedených satelitních dat a pozemně měřených meteorologických prvků byly vypočteny funkční parametry povrchu krajiny (množství vegetace, vlhkost a teplota povrchu) a prvky energetické bilance povrchu krajiny pro termíny nasnímání satelitních snímků.

Funkční parametry povrchu byly ze satelitních snímků spočteny podle následujících vztahů. Pro stanovení množství vegetace byl vypočten Normalizovaný rozdílový vegetační index (NDVI) podle vztahu (Tucker 1979):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{band NIR} - \text{band RED}}{\text{band NIR} + \text{band RED}} \quad (4)$$

kde band NIR a band RED jsou reflektance, vypočtené z kanálů č. 4 a č. 3 senzoru LANDSAT 5 TM či 7 ETM+, nebo z kanálů č. 5 a č. 4 senzoru LANDSAT 8 OLI. Pro stanovení vlhkosti povrchu byl vypočten Normalizovaný rozdílový vlhkostní index (NDMI) podle vztahu (Gao 1996; Jin et Sader 2005):

$$\text{NDMI} = \frac{\text{band NIR} - \text{band SWIR}}{\text{band NIR} + \text{band SWIR}} \quad (5)$$

kde band SWIR je reflektance, vypočtená z kanálu č. 5 senzoru LANDSAT 5 TM či 7 ETM+, nebo z kanálu č. 6 senzoru LANDSAT 8 OLI. Pro stanovení reálné radiální teploty povrchu byla nejdříve spočtena radiální teplota povrchu pro absolutně černé těleso T_b [K] s pomocí termálního kanálu družicových senzorů LANDSAT 5 TM, 7 ETM+ a 8 TIRS podle vztahu (Chander et al. 2009):

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (6)$$

kde K_1 a K_2 jsou přístrojové kalibrační konstanty (Chander et al. 2009).

Radiační teplota povrchu pro absolutně černé těleso je korigována emisivitou na reálnou radiační teplotu povrchu T_s [°C] podle vztahu (Lillesand et al. 2004):

$$T_s = \frac{T_b}{\varepsilon^4} - 273,16 \quad (7)$$

kde ε je emisivita povrchu. Emisivita povrchu byla s použitím vegetačního indexu NDVI a kanálu band NIR vypočtena metodou NDVI Threshold Method (Sobrino et al. 2004).

Při výpočtu energetických toků na povrchu Země je třeba vyjít z radiační bilance. Výsledkem radiační bilance je celková čistá radiace R_n [Wm^{-2}], kterou lze vyjádřit vztahem (Arya 2001):

$$R_n = R_{S\downarrow} + R_{S\uparrow} + R_{L\downarrow} + R_{L\uparrow} \quad (8)$$

kde $R_{S\downarrow}$ je celková dopadající krátkovlnná sluneční radiace o vlnové délce cca 0,4 - 3 μm , $R_{S\uparrow}$ je krátkovlnná sluneční radiace, odražená od povrchu Země, $R_{L\downarrow}$ je dopadající dlouhovlnná radiace atmosféry o vlnové délce cca 8 - 14 μm a $R_{L\uparrow}$ je povrchem vyzářená dlouhovlnná radiace. Celková dopadající krátkovlnná radiace $R_{S\downarrow}$ je pozemně měřený meteorologický prvek, na kterém byly provedeny korekce sklonu terénu, geometrie slunečního záření, zeměpisné šířky a délky, data a času pořízení satelitního snímku postupem, který shrnuje Kumar (1997). Hodnota $R_{S\uparrow}$ byla vypočtena podle upraveného vztahu (Arya 2001):

$$R_{S\uparrow} = R_{S\downarrow} \cdot \alpha \quad (9)$$

kde α je albedo, vypočtené podle vztahu (Tasumi et al. 2008):

$$\alpha = \sum_{b=1}^7 (\rho_{S,b} \cdot w_b) \quad (10)$$

kde b je číslo kanálu senzorů LANDSAT 5 TM, 7 ETM+ a 8 OLI, $\rho_{S,b}$ jsou hodnoty spektrální reflektance na zemském povrchu a w_b jsou váhové koeficienty (blíže Tasumi et al. 2008).

Hodnota $R_{L\downarrow}$ byla vypočtena s použitím Stefan-Boltzmannova zákona podle vztahu:

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_{ac} \sigma (T_a + 273,16)^4 \quad (11)$$

kde ε_{ac} je emisivita atmosféry, σ je Stefan-Boltzmannova konstanta a T_a je pozemně měřená teplota vzduchu.

Hodnota ε_{ac} byla vypočtena podle vztahu (Brutsaert 1982):

$$\varepsilon_{ac} = 1,24 \left(\frac{e_a \cdot 10}{T_a + 273,16} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (12)$$

kde e_a je tlak vodní páry ve vzduchu [kPa]. Hodnota e_a byla vypočtena podle vztahu:

$$e_a = \frac{E_a \cdot Rh}{100} \quad (13)$$

kde Rh je pozemně měřená relativní vlhkost vzduchu a E_a je tlak nasycené vodní páry ve vzduchu, vypočtený podle Magnus-Tetenova vztahu:

$$E_a = 0,61121 \cdot \exp \left(\frac{17,502 \cdot T_a}{240,97 + T_a} \right) \quad (14)$$

Hodnota $R_{L\uparrow}$ byla vypočtena s použitím Stefan-Boltzmannova zákona podle vztahu:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon \sigma (T_s + 273,16)^4 \quad (15)$$

Celková čistá radiace R_n reprezentuje množství energie, které se v závislosti na podmínkách prostředí různě transformuje do tepelných toků na povrchu Země. Těmi jsou tok tepla pro ohřev povrchů (J), energie spotřebovaná na fotosyntézu (P), tok tepla do půdy (G), tok pocitového tepla (H) a tok latentního tepla výparného (λE), spotřebovaného na evapotranspiraci. Toky tepel pro ohřev povrchů a pro fotosyntézu jsou zpravidla velmi malé, v řádu jednotek procent celé tepelné bilance, a proto se zanedbávají (Brom et al. 2014).

Existuje několik přístupů k výpočtu prvků tepelné bilance. Tok latentního tepla výparného lze vypočítat ze změřeného množství vody, odpařené z porostu a povrchu půdy pomocí lysimetrů (Allen et al. 1991; Nokes 1995, Gieske 2003) a evaporimetrů (Slavík 1965). Tyto metody jsou však určeny pouze pro lokální měření. Míru evapotranspirace a tedy i tok latentního tepla výparného lze stanovit též prostřednictvím metody Eddy kovariance, spočívající v prostorovém ultrazvukovém měření proudění vzduchu a spektrálním měření obsahu vody a CO₂ ve vzduchu (Lee et al. 2004). Tato metoda je však sama o sobě také určena pro plošně nepříliš rozsáhlá měření, navíc je instrumentálně poměrně složitá a nákladná. Výpočet prvků tepelné bilance pomocí Penman-Monteithova aerodynamického přístupu (Monteith et Unsworth 1990; Kalma et al. 2008) využívá výpočtu přenosu tepla, hybnosti a vodní páry při proudění vzduchu mezi povrchem a přilehlou vrstvou atmosféry. Další přístup metodou termální inercie (Maltese et al. 2010; Minacapilli et al. 2012) využívá výpočtu prvků tepelné bilance z energetických parametrů povrchu, sledovaných po delší časové období. Oba tyto přístupy jsou často vhodné pro modelování tepelných toků v laboratorních podmínkách, nebo na malých venkovních plochách, kde lze zajistit dostatečně hustou síť měření fyzikálních prvků. Lze je použít pro povrchy, které se v ploše příliš výrazně neliší svou drsností (např. výškou vegetace). V případě studií, popsaných v této práci, však byla posuzována rozsáhlejší území, v některých z nich byly navíc mezi jednotlivými plochami kvůli různým typům vegetace značné rozdíly v drsnosti povrchu. Podobně je pro výpočet prvků tepelné bilance na rozsáhlých územích obtížně použitelný přístup jednodušší metodou Bowenova poměru (Bowen 1926; Brutsaert 1982; Monteith et Unsworth 1990), využívající bodových měření gradientu teplot a obsahu vodní páry nad porostem a v úrovni porostu a gradientu teplot v různých hloubkách půdy. Tato bodová měření též nejsou použitelná pro plochy většího rozsahu.

Proto byl ve studiích v této práci použit gradientový přístup, který využívá satelitních snímků, poskytujících plošnou informaci. Výpočetní přístup využívá předpokladu, že s rostoucím výparem z povrchu klesá jeho teplota a mění se tak gradient mezi teplotou vzduchu a teplotou povrchu. Tok tepla do půdy je pak vypočten empirickým vztahem, též s využitím satelitních dat a jejich plošné spektrální informace. Základním vstupem výpočtu je výsledek radiační bilance (vztah č. 8).

Se znalostí celkové čisté radiace R_n při současném zanedbání toku tepla pro ohřev povrchů a energie pro fotosyntézu je možné jednotlivé prvky tepelné bilance povrchu vyjádřit vztahem (Penman 1948):

$$R_n = G + H + \lambda E \quad (16)$$

kde G je tok tepla do půdy, H je tok pocitového tepla a λE je tok latentního tepla výparného. Hodnota toku tepla do půdy G [Wm^{-2}] byla vypočtena s využitím spektrálních satelitních dat podle vztahu (Bastiaanssen et al. 1998):

$$G = \frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98NDVI^4)R_n \quad (17)$$

Hodnota toku latentního tepla výparného λE [Wm^{-2}] byla spočtena s použitím upravené rovnice pro výpočet evaporativní frakce. Evaporativní frakce EF [bezrozm.] je poměr energie, využitě pro výpar a energie, která je pro výpar k dispozici, lze ji tedy popsat vztahem (Lhomme et Elguero 1999):

$$EF = \frac{\lambda E}{\lambda E + H} = \frac{\lambda E}{R_n - G} \quad (18)$$

Evaporativní frakci odvodili Suleiman et Crago (2004) ze škálovaného gradientu teploty povrchu a teploty vzduchu jako:

$$EF = \frac{T_{s \max} - T_s}{T_{s \max} - T_a} \quad (19)$$

kde $T_{s \max}$ je nejvyšší hodnota reálné radiační teploty povrchu v rámci použitého satelitního snímku. Na základě rovnic č. 16, 18 a 19 lze tedy tok latentního tepla výparného odvodit jako:

$$\lambda E = \frac{(R_n - G)(T_{s \max} - T_s)}{(T_{s \max} - T_a)} \quad (20)$$

Hodnota pocitového tepla H [Wm^{-2}] byla následně po vypočtení ostatních složek energetické bilance vypočtena z bilanční rovnice č. 16.

Vlastní výpočty funkčních parametrů povrchu a jeho energetické bilance byly provedeny v softwaru SEBCS SA (Brom 2013).

Satelitní mapy funkčních parametrů povrchu a energetické bilance byly statisticky zpracovány postupy, uvedenými v metodických kapitolách každé ze studií. Zpracování spočívá v převedení satelitních map vypočtených parametrů povrchu na číselné soubory hodnot pixelů, reprezentujících danou lokalitu, se kterými jsou provedeny statistické analýzy.

Funkční parametry a prvky energetické bilance, vypočtené ze satelitních snímků se mohou meziročně lišit nejen v závislosti na stavu povrchu, ale i na chodu počasí v aktuální sezoně a na okamžitém stavu počasí. Zvláště teplota povrchu je velmi dynamická veličina, závislá na konkrétní povětrnostní situaci, proto je její použití pro meziroční porovnání stavu povrchu někdy problematické (Peters et Evett 2007). Proto byla satelitní data pro účely meziročního porovnání hodnot parametrů povrchu a pro účely porovnání sledovaných lokalit s okolní krajinou standardizována podle vztahu:

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (21)$$

kde x_i je hodnota i -tého pixelu snímku, \bar{x} je aritmetický průměr souboru pixelů snímku, s je směrodatná odchylka souboru pixelů snímku a Z_i je výsledná hodnota i -tého pixelu ve standardizovaném snímku. Standardizací získaly soubory satelitních dat rozdělení hodnot pixelů s aritmetickým průměrem rovným 0 a směrodatnou odchylkou rovnou 1. Výběry pixelů pro zkoumané lokality z těchto snímků je pak možno mezi sebou porovnávat, neboť jejich centrální statistiky se podle vlastností povrchu budou od statistik celého souboru pixelů a mezi sebou lišit.

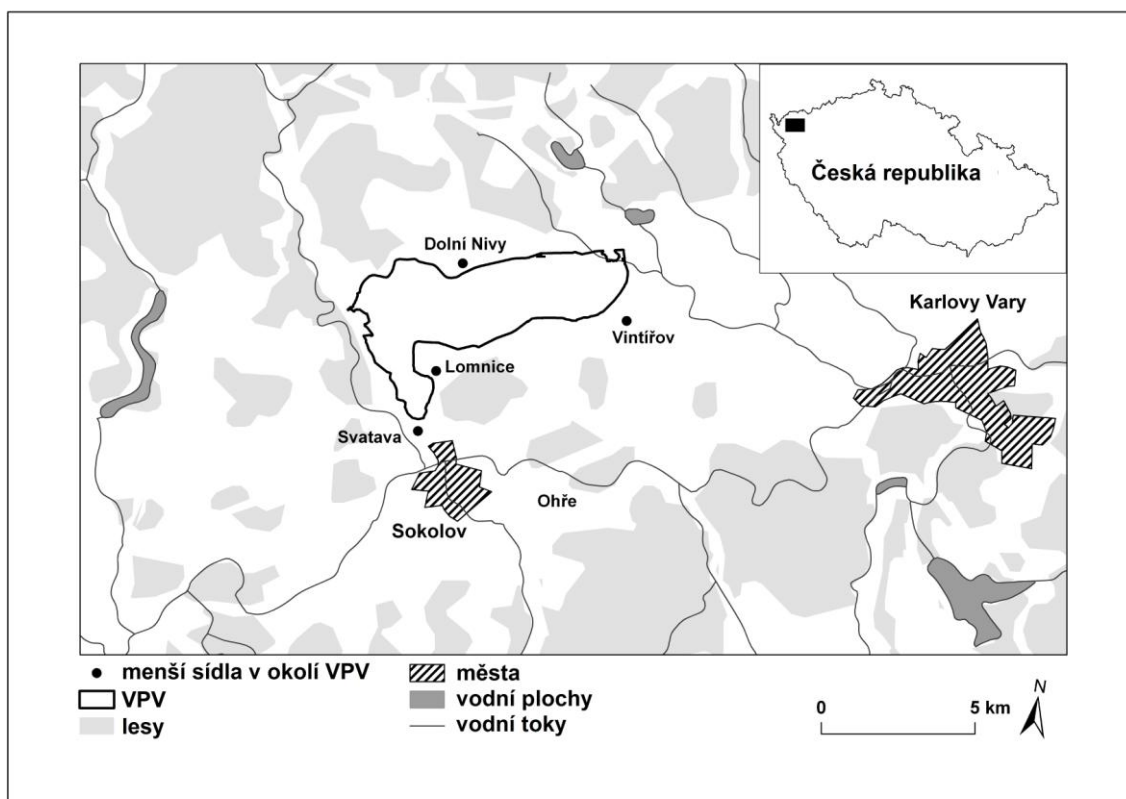
3. Studie

3.1. Vývoj funkčních parametrů povrchu hnědouhelné výsypky

Tato studie se zabývá vlivem tvorby rozlehlé hnědouhelné výsypky a následné rekultivace tohoto území na funkční parametry jeho povrchu. Ve studii je využita časová řada satelitních snímků LANDSAT z období intenzivního ukládání hornin a zemin na výsypku a dále z období intenzivních rekultivačních prací a samovolné obnovy území. Je tak popsán časový vývoj množství vegetace, vlhkosti povrchu a jeho teploty v období tvorby výsypky a následně v době její biologické rekultivace.

3.1.1. Popis lokality

Velká Podkrušnohorská výsypka (VPV) je vnější hnědouhelná výsypka (rozloha 21,85 km²) v severozápadních Čechách, nachází se v blízkosti města Karlovy Vary (Obr. 1). Výsypka začala vznikat nasypáváním hlušiny v padesátých letech 20. století, největší objemy hlušiny na ni byly uloženy počátkem osmdesátých let, kdy těžba uhlí v regionu gradovala a bylo v něm vytěženo více než 22,6 mil. tun hnědého uhlí (Rothbauer 2003). Celkově bylo na výsypku uloženo cca 886 mil. m³ třiadvaceti druhů hornin a zemin, ve kterých dominovaly cyprisové jíly, jílovce, uhelné jíly a zbytky uhelných hornin (Mikoláš 2009). V polovině devadesátých let bylo ukládání hlušiny na výsypku postupně omezováno a v roce 2003 bylo zcela ukončeno (Rothbauer 2003), souběžně začaly v tomto období na výsypce intenzivněji probíhat biologické rekultivace, zahrnující zalesnění a přípravu ploch pro zemědělské hospodaření (především pro louky). Na části území je plánováno vytvořit též drobnější vodní a související mokřadní plochy. Pro většinu území VPV je cílově naplánováno zalesnění, především jehličnatými dřevinami. Určitá menší část území byla ponechána samovolné obnově ve smyslu volného zarůstání náletovou vegetací (podrobně Prach 1987; Prach 2003; Prach et al. 2009). VPV se nachází v průměrné nadmořské výšce 550 m n.m., průměrná roční teplota vzduchu v jejím širším okolí je 7 °C (letní 15°C), průměrný roční srážkový úhrn je 600 mm (letní 150 mm) (Tolasz et al. 2007).



Obr. 1: Přehledná mapa VPV. Mapový rám vymezuje rozsah širší oblasti, v jejímž rámci byly funkční parametry povrchu VPV hodnoceny.

3.1.2. Popis dat a jejich zpracování

Pro hodnocení vývoje funkčních parametrů povrchu VPV byla použita časová řada dosažitelných satelitních snímků LANDSAT 5 TM a LANDSAT 7 ETM+ (Tab. 4). Pro studii byly použity všechny dosažitelné satelitní snímky, které splňovaly atributy minimální nebo žádné oblačnosti, data nasnímání ve vrcholu vegetační sezony (konec června, červenec nebo srpen) a přesného převzorkování metodou nejbližšího souseda (nearest neighbour), která zaručí co nejpřesnější zachování radiometrické informace (Lillesand et al. 2004). Pro jednotlivé roky byly ze satelitních snímků vypočteny funkční parametry povrchu krajiny (NDVI - množství vegetace, NDMI - vlhkost povrchu a reálná radiační teplota povrchu). Data byla zpracována postupy, uvedenými v obecné metodické části (kapitola 2. Materiály a metody).

Tab. 4: Termíny pořízení satelitních snímků časové řady a počty pixelů v satelitních snímcích ve VPV a v širší posuzované oblasti.

datum pořízení satelitního snímku	počet pixelů na ploše VPV	počet pixelů v širší oblasti
3.8.1984	24 269	738 426
14.8.1988	24 281	778 180
7.8.1991	24 281	778 180
1.7.1995	24 281	777 915
20.6.2000	24 281	762 160
10.8.2004	24 281	778 180
28.7.2005	24 281	778 180
24.8.2009	24 281	778 180

Funkční parametry povrchu byly ze satelitních snímků vypočteny pro širší oblast cca 500 km² (rozsah mapového rámce na Obr. 1), v jehož kontextu byly povrchové parametry VPV posuzovány. Tato širší oblast zahrnuje pestrou mozaiku lesů, zemědělské půdy, vodních útvarů i sídel a zpevněných ploch. Představuje tedy v souhrnu jakousi „průměrnou“ krajinu tak velkého plošného rozsahu, že ji lze pro účely této studie považovat ve vztahu k VPV za srovnávací oblast, jejíž funkční parametry povrchu se v průběhu času mění jen minimálně. Počty pixelů satelitních snímků, použitých pro analýzu (Tab. 4) se mezi jednotlivými termíny mírně liší, neboť část z nich nebylo možné kvůli místnímu výskytu drobné oblačnosti použít. Taková místa byla v satelitních snímcích maskována. Pro jednotlivé sledované roky byly ze satelitních snímků VPV vypočteny popisné statistiky parametrů povrchu a stanoveny jejich časové trendy vývoje. Pro možnost meziročního porovnání a srovnání povrchových parametrů s okolní širší oblastí byla data standardizována podle vztahu č. 21 (kapitola 2. Materiály a metody).

3.1.3. Výsledky

Výsledky ukázaly, že do závěru devadesátých let 20. století se funkční parametry povrchu VPV zhoršovaly, tedy klesalo množství vegetace i vlhkost povrchu.

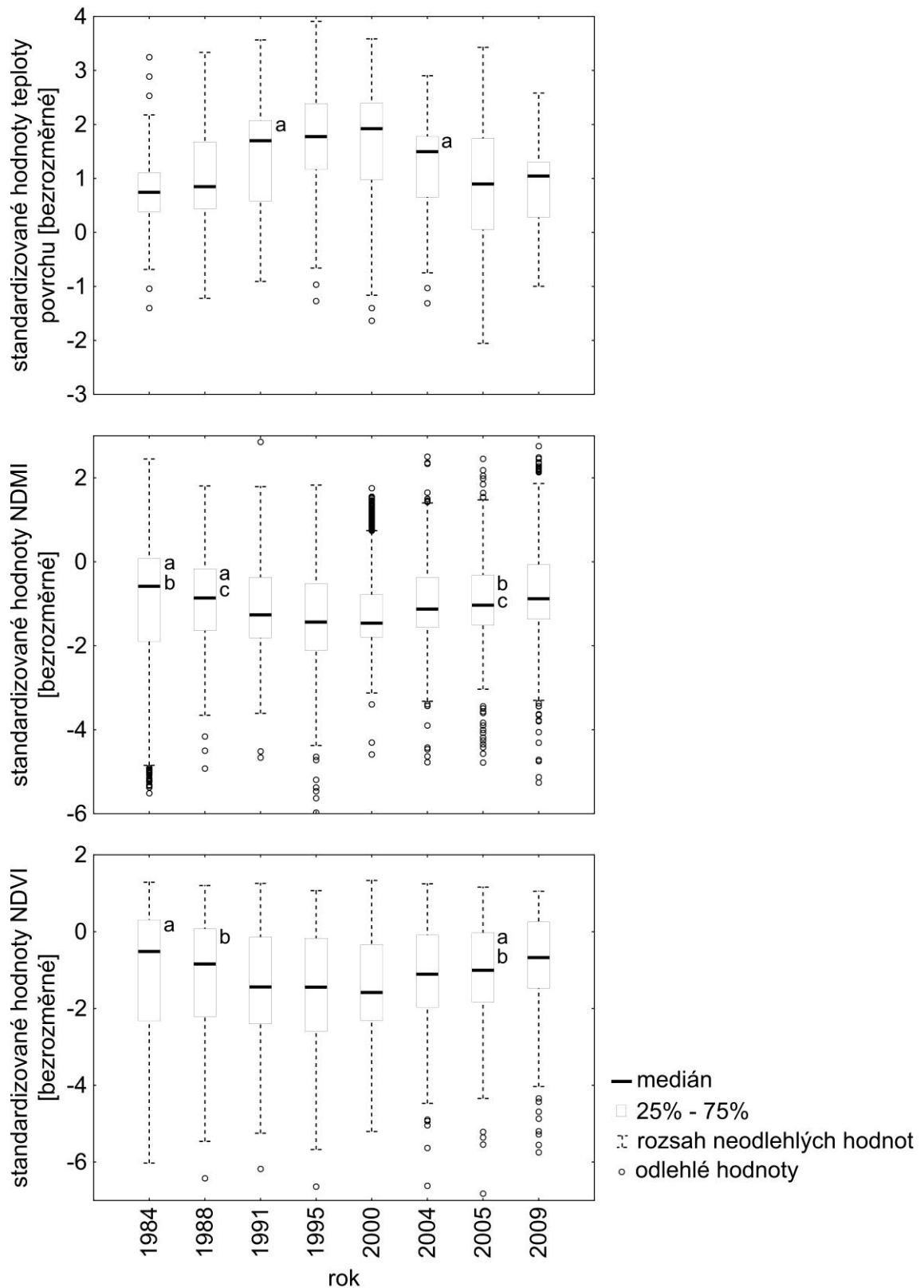
Jeho teplota se naopak zvyšovala. Popisné statistiky (Tab. 5) ukazují, že množství vegetace od poloviny 80. let kleslo do roku 2000 v absolutních hodnotách indexu NDVI zhruba na polovinu. Podobně výrazný trend poklesu vykazují hodnoty NDMI. Povrchová teplota pak v absolutní míře stoupla z cca 26 °C na více, než 40 °C. Trendy parametrů nejsou v tomto období zcela spojitě, v roce 1995 velmi mírně vzrostlo množství vegetace i povrchová vlhkost ve srovnání s rokem 1991. Tento drobný výkyv byl však následován pokračujícím trendem úbytku vegetace i povrchové vlhkosti až k roku 2000. Podobně teplota povrchu se mezi lety 1984 a 1988 velmi mírně snížila, tento výkyv, či v celkovém kontextu spíše stagnace byla následována výrazným nárůstem povrchové teploty do roku 2000.

Po roce 2000 pak všechny parametry povrchů ukazují trend zlepšení, přestože parametry do roku 2009 nedosáhly svých původních hodnot z poloviny 80. let. Trendy jsou v tomto období spojitě až na výjimku mediánu teploty posledního sledovaného roku 2009.

Tab. 5: Průměrné teploty a mediány nestandardizovaných dat NDVI, NDMI a povrchové radiační teploty povrchu území VPV v posuzovaných letech.

rok	NDVI [bezrozměrné]		NDMI [bezrozměrné]		teplota povrchu [°C]	
	průměr	medián	průměr	medián	průměr	medián
1984	0,502	0,593	0,131	0,185	26,2	26,0
1988	0,418	0,451	0,050	0,052	25,4	25,0
1991	0,333	0,275	0,020	-0,022	32,9	34,0
1995	0,380	0,348	0,052	0,017	35,7	36,0
2000	0,203	0,108	-0,164	-0,221	41,5	43,0
2004	0,421	0,402	0,061	0,026	33,2	34,0
2005	0,456	0,446	0,079	0,053	28,3	28,0
2009	0,523	0,529	0,081	0,051	28,2	29,0

Popisné statistiky týchž dat ve standardizované formě (Obr. 2) ukazují podobné výsledky. Všechny popsané časové trendy jsou však již spojitě, s výjimkou mediánu teploty posledního sledovaného roku (2009).



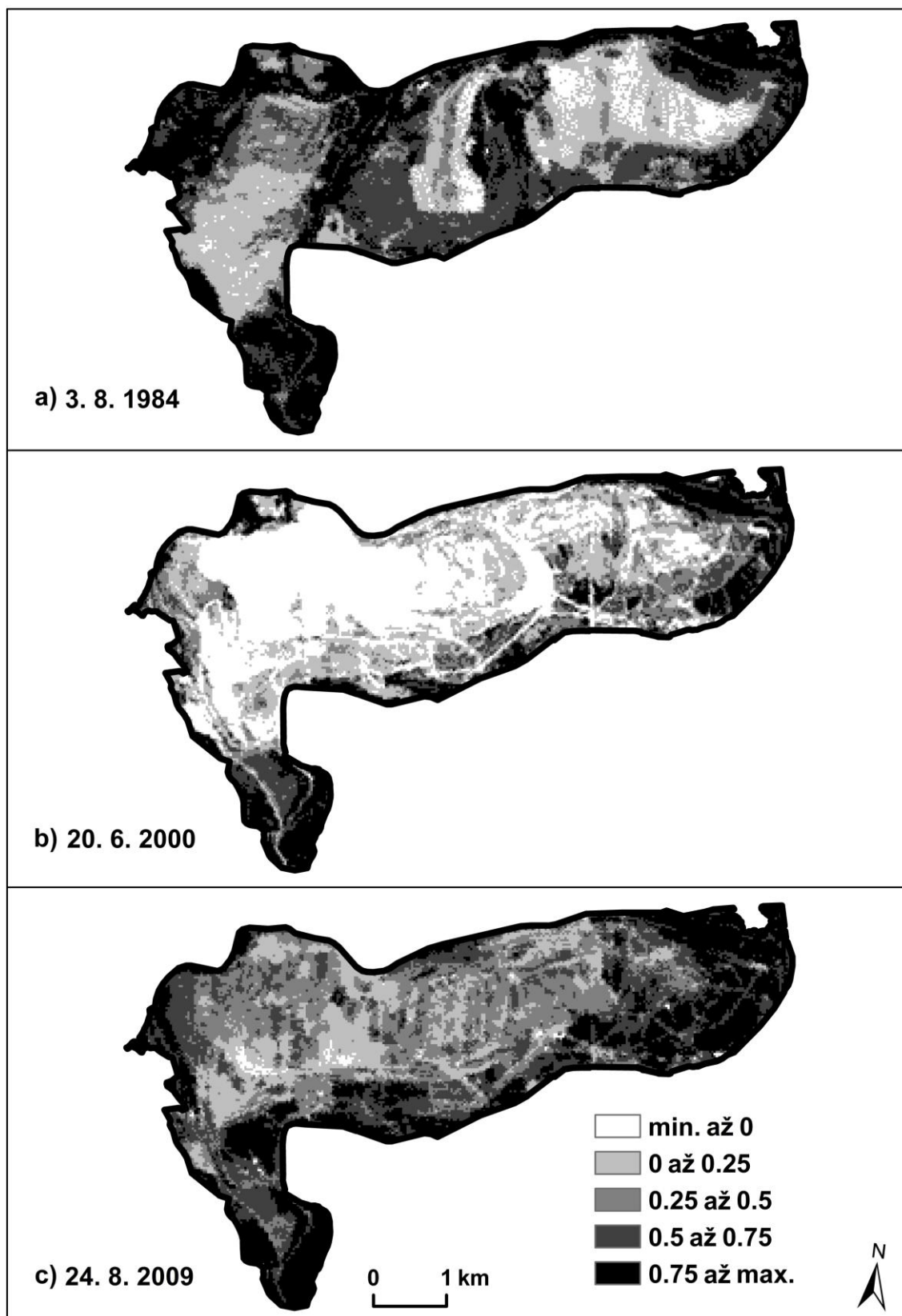
Obr. 2: Trendy standardizovaných hodnot funkčních parametrů povrchu VPV pro jednotlivé roky, vypočtené ze satelitních snímků. Malá písmena vyznačují dvojice hodnot, které se mezi sebou v daných letech průkazně neliší (Kruskal-Wallisův test, vícenásobné porovnání, $p > 0,05$).

Až na jedinou výjimku (hodnoty NDMI v letech 1984 a 1988) se meziročně mezi sebou sousední hodnoty parametrů povrchu průkazně liší (Kruskal-Wallisův test, vícenásobné porovnání, $p < 0,05$). V průběhu let se mění i modalita dat, tedy poloha mediánu v rámci rozdělení výběru (znázorněná polohou čáry mediánu v rámci boxu mezikvartilového rozpětí na Obr. 2). Lze tak pozorovat, že na začátku sledovaného období se většina ploch VPV nachází v oblasti relativně vyšších hodnot NDVI a NDMI a spíše nižších hodnot povrchové teploty. S postupujícím časem se většina ploch VPV přesune do oblasti relativně nižších hodnot NDVI a NDMI a spíše vyšších hodnot povrchové teploty. Přibližně v této podobě pak zůstávají rozdělení dat všech tří parametrů až do konce sledovaného období.

3.1.4. Diskuze

Území VPV prošlo v období čtvrtstoletí od poloviny osmdesátých let dvacátého století poměrně dynamickým vývojem. Do závěru devadesátých let 20. století se v důsledku technických úprav povrchu výsypky funkční parametry jejího povrchu zhoršovaly. Při nasypávání materiálu hlušiny a tvorbě zemního tělesa VPV byla stávající náletová vegetace odstraňována, klesala i vlhkost povrchu. Jeho teplota se naopak zvyšovala, což lze považovat za důsledek snižující se schopnosti povrchu v procesu evapotranspirace vypařovat vodu a spotřebovat tak větší část sluneční energie na tok latentního tepla výparného. V době, kdy bylo postupně ukončováno ukládání materiálu na výsypku a začaly se provádět biologické rekultivace (od přelomu tisíciletí), začalo množství vegetace růst. Díky schopnosti vegetace zadržet srážkovou vodu ve svých tělech, v půdním prostředí a v rhizosféře (Frouz et al. 2001; Larcher 2003; Kirkham 2004) a uvolnit ji v procesu evapotranspirace do atmosféry vzrůstá od této doby vlhkost povrchu a snižuje se jeho teplota.

To, že se v případě zhoršování parametrů povrchu do roku 2000 a jejich následného zlepšování jedná o trendy lze ukázat na faktu, že se v případě standardizovaných dat mezi sebou hodnoty parametrů dvou sousedních sledovaných roků až na jednu výjimku vždy prokazatelně liší. Trendy je možné sledovat i vizuálně. Na satelitních mapách NDVI (Obr. 3) je patrný úbytek vegetace v roce 2000 (světlé plochy) a její opětovný nárůst (tmavé plochy).



Obr. 3: Množství vegetace (NDVI) na povrchu VPV, vypočtené ze satelitních snímků ve vybraných letech.

Vzhledem k tomu, že satelitní data byla v celém širším území standardizována, ukazuje nulová hodnota v grafech (Obr. 2) průměrnou hodnotu v celém tomto širším území o rozloze přes 500 km² (mapový rám na Obr. 1). Tuto nulovou hodnotu tedy můžeme považovat za jakýsi normál jednotlivých parametrů povrchu v daném regionu. Jednotlivé mediány hodnot v grafech pak ukazují na stav parametrů povrchu území VPV ve vztahu k celé oblasti. Množství vegetace a vlhkosti povrchu jsou v celém sledovaném období nižší než 0, naopak střední hodnota povrchové teploty nulovou hodnotu převyšuje. Je tak zřejmé, že stav povrchu VPV byl a stále je z hlediska funkčních parametrů výrazně horší, než okolní krajina, povrchovou těžbou méně zasažená.

3.1.5. Závěr

Ukázka vývoje zemních prací a biologických rekultivací na VPV je dobrým příkladem toho, jaký vliv může mít množství vegetace na další funkční parametry povrchu Země, především na jeho povrchovou teplotu, vzhledem k tomu, že vegetace má schopnost výparem vody povrch Země ochlazovat. Zásah do množství vegetace na rozsáhlém území vnější hnědouhelné výsypky tak má za následek výrazné zhoršení funkčních parametrů povrchu tohoto území. Vývoj v posledních letech však naznačuje, že s postupem rekultivačních prací i samovolné obnovy vegetačního pokryvu mohou být tyto funkční parametry povrchu rehabilitovány. Míra zlepšení těchto parametrů bude ve větší míře zřejmě záviset na intenzitě rozvoje vegetace v rámci rekultivací a samovolné obnovy.

3.2. Vliv výstavby dálnice na energetické parametry povrchu

Vzhledem k tomu, že plošně rozsáhlé nebo dlouhé liniové stavby jsou spojeny s rozsáhlým odstraněním vegetace, nelze vyloučit, že při jejich provádění může dojít k větší změně energetických toků na povrchu daného místa, s dopadem na teplotu prostředí, proudění vzduchu i místní klima širšího území.

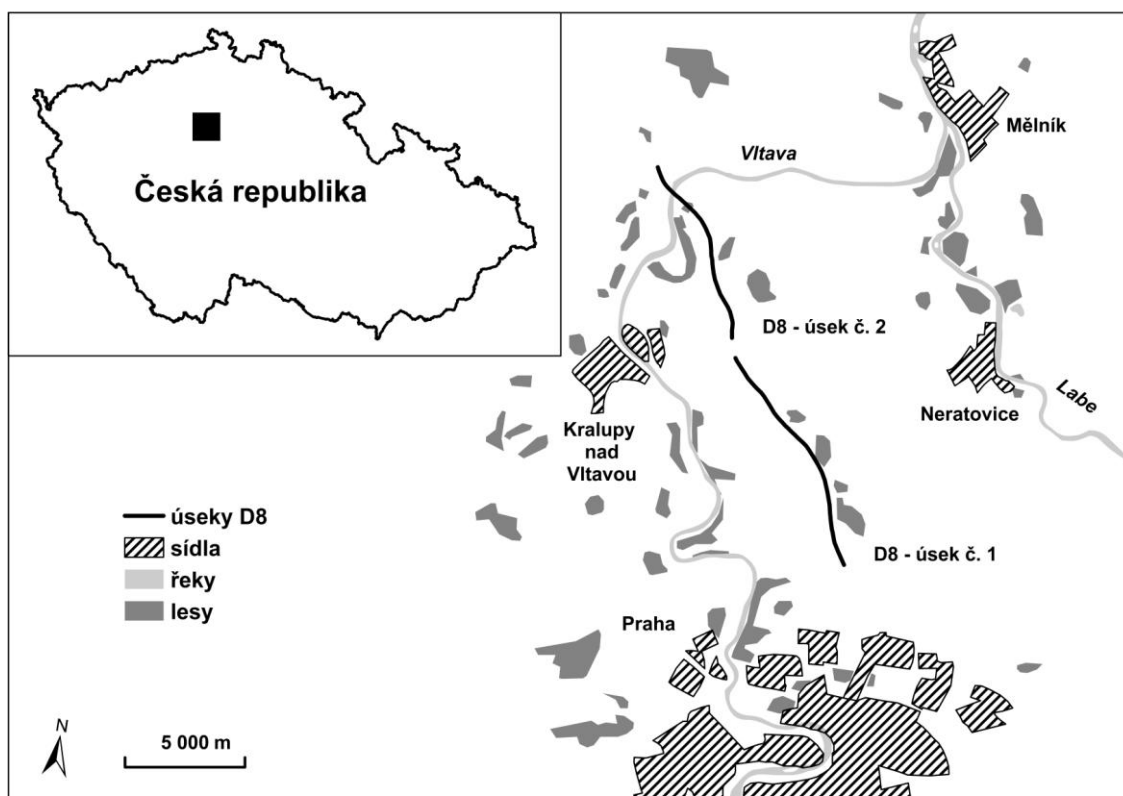
Cílem této studie je popsat vliv výstavby dálnice a souvisejících okolních staveb na klima a energetickou bilanci povrchu krajiny v jejím okolí. Tedy popsat způsob, jakým se sluneční energie, dopadající na povrch krajiny rozděluje do jednotlivých energetických toků v sledovaném místě před výstavbou dálnice a v průběhu její výstavby. Lze předpokládat, že před výstavbou dálnice bude díky přítomnosti vegetace s její schopností evapotranspirace na plochách lesů, trvalých travních porostů a na zemědělské půdě značná část dopadající sluneční energie transformována do toku latentního tepla výparného. V důsledku odstranění vegetace při výstavbě dálničního tělesa pak dojde v jeho trase k významnému snížení transformace sluneční energie do toku latentního tepla výparného a k přesunu značné části této energie do toku pocitového tepla.

Potvrzení takového trendu by jistě nebylo překvapivé, hlavními cíli této studie však je jednak určit množství energie, která se vlivem provádění stavby dálnice z toku latentního tepla výparného do toku pocitového tepla přesune a dále určit, do jaké kolmé vzdálenosti od tělesa dálnice se její vliv v tomto smyslu projevuje. Tedy kvantifikovat i vliv výstavby dálnice na její širší okolí.

3.2.1. Popis lokality

Studovanými lokalitami jsou dva úseky čtyřproudé dálnice D8 ve střední části České republiky (Obr. 4), které byly budovány v průběhu devadesátých let 20. století (podrobně ŘSD 2006) a které jsou zachyceny na multispektrálních satelitních snímcích, použitých v této studii. Výsledné dálniční těleso s asfaltovým povrchem má po dostavbě střední šířku 26,5 m. Hodnocený úsek č. 1 o délce 9 600 m (Praha, Zdiby - Úžice) byl

rozestavěn v letech 1990 až 1993 a jeho fáze rozestavěnosti je zachycena na satelitním snímku ze 7.8.1991. Úsek č. 2 o délce 8 900 m (Úžice - Nová Ves) byl rozestavěn v letech 1993 až 1996 a jeho fáze rozestavěnosti je zachycena na satelitním snímku z 1.7.1995. Oba úseky leží v rovinaté oblasti s průměrnou nadmořskou výškou 228 m n.m., pokryté mozaikou převážně zemědělské půdy s plochami polí a luk, částečně i lesních porostů a menších sídel. Dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu je 9 °C (letní 17°C), dlouhodobý průměrný roční srážkový úhrn je 500 mm (letní 200 mm) (Tolasz et al. 2007).



Obr. 4: Poloha studovaných úseků dálnice D8 (vyznačených černými liniemi) v České republice.

3.2.2. Popis dat a jejich zpracování

Pro výpočet prvků energetické bilance a dalších funkčních charakteristik povrchu krajiny (množství vegetace, povrchová vlhkost a radiační teplota povrchu) byly použity satelitní multispektrální snímky LANDSAT 5 TM. Satelitní snímky byly vybrány tak,

aby zachycovaly stav lokalit ve vrcholu vegetační sezony (červenec, srpen) vždy ve stejnou denní dobu v letech před výstavbou dálnice a v době její výstavby (Tab. 6).

Tab. 6: Data pořízení satelitních snímků a jejich použití pro každý ze dvou sledovaných dálničních úseků.

data pořízení satelitních snímků	úsek č. 1 dálnice D8	úsek č. 2 dálnice D8
3.8.1984	před začátkem výstavby D8	před začátkem výstavby D8
14.8.1988	před začátkem výstavby D8	před začátkem výstavby D8
7.8.1991	D8 ve výstavbě	před začátkem výstavby D8
1.7.1995		D8 ve výstavbě

Pro výpočet energetické bilance povrchu byly vedle satelitních snímků použity i meteorologické prvky měřené pozemně v okamžiku pořízení satelitních snímků: teplota vzduchu [°C], relativní vlhkost vzduchu [%] a celková dopadající krátkovlnná radiace [Wm^{-2}]. Meteorologická data popisující povětrnostní podmínky pro časy nasnímání satelitních snímků (Tab. 7) byla získána z databáze Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

Tab. 7: Povětrnostní podmínky a celková dopadající krátkovlnná radiace v okamžiku pořízení satelitních snímků. Pro výpočet energetické bilance povrchu byly použity meteorologické prvky teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a celková dopadající krátkovlnná radiace.

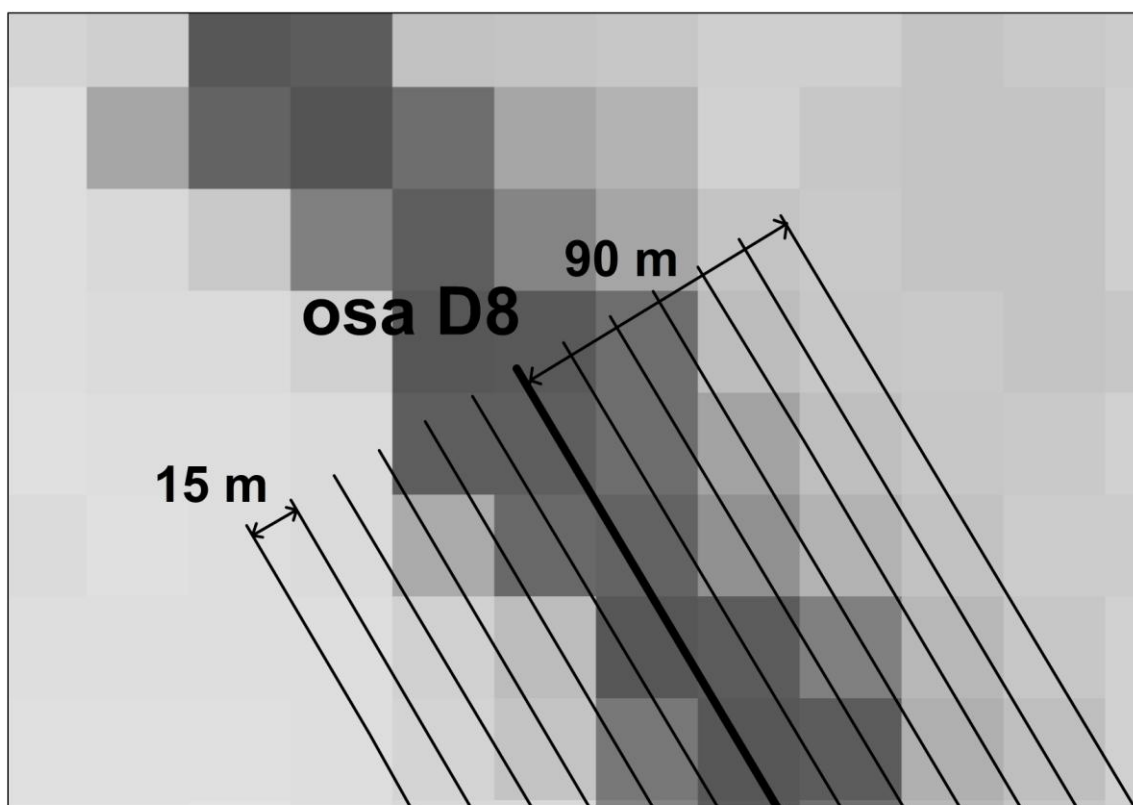
data pořízení satelitních snímků	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost vzduchu [%]	rychlost větru [ms^{-1}]	celková dopadající krátkovlnná radiace [Wm^{-2}]
3.8.1984	19,7	64	1	628
14.8.1988	20,5	67	1	636
7.8.1991	24,6	58	2	674
1.7.1995	24,9	54	1	729

Funkční parametry povrchu krajiny (množství vegetace, vlhkost a teplota povrchu) a prvky tepelné bilance povrchu krajiny (tok tepla do půdy, tok zjevného tepla a tok latentního tepla výparu) byly spočteny pro termíny nasnímání satelitních snímků (Tab. 6) pro širší oblast o rozloze 1 315 km², ve které se dálnice nachází. Vznikly tak satelitní mapy parametrů povrchu celé širší oblasti v okolí dálnice před její výstavbou a v době její výstavby (Tab. 8).

Tab. 8: Satelitní mapy funkčních parametrů povrchu a jeho tepelné bilance, použité pro analýzu.

parametr	veličina	jednotka
množství vegetace	normalizovaný rozdílový vegetační index (NDVI)	bezrozm.
vlhkost povrchu	normalizovaný rozdílový vlhkostní index (NDMI)	bezrozm.
teplota povrchu	radiační teplota povrchu (T_s)	°C
latentní teplo výparné	tepelný tok (λE)	Wm ⁻²
tok pocitového tepla	tepelný tok (H)	Wm ⁻²
tok tepla do půdy	tepelný tok (G)	Wm ⁻²

V ose trasy dálničního tělesa pak byla v satelitních mapách vytvořena linie, protínající pixely s hodnotami sledovaných parametrů (Obr. 5). Paralelně s touto osovou linií bylo vytvořeno po každé straně osy dalších šest linií, vždy v 15 m vzdálenostech. Pro každé dvě linie ve shodné kolmé vzdálenosti od osy (vlevo a vpravo) byl vypočten průměr hodnot pixelů, které linie protnuly. Takto vznikly průměrné absolutní hodnoty jednotlivých parametrů povrchu v pravidelných 15 m rozestupech od osy D8 až do 90 m kolmé vzdálenosti. Řada těchto hodnot od osy dálnice do 90 m kolmé vzdálenosti tak reprezentuje průměrnou změnu parametrů povrchu od osy dálnice k jejímu okraji a dále do jejího okolí. Zároveň lze těchto hodnot použít pro porovnání parametrů povrchu před stavbou D8 a v průběhu její stavby.



Obr. 5: Linie, ve kterých byly stanoveny průměry hodnot pixelů, které tyto linie protnulý. Průměry hodnot pixelů byly provedeny pro všechny sledované parametry povrchu.

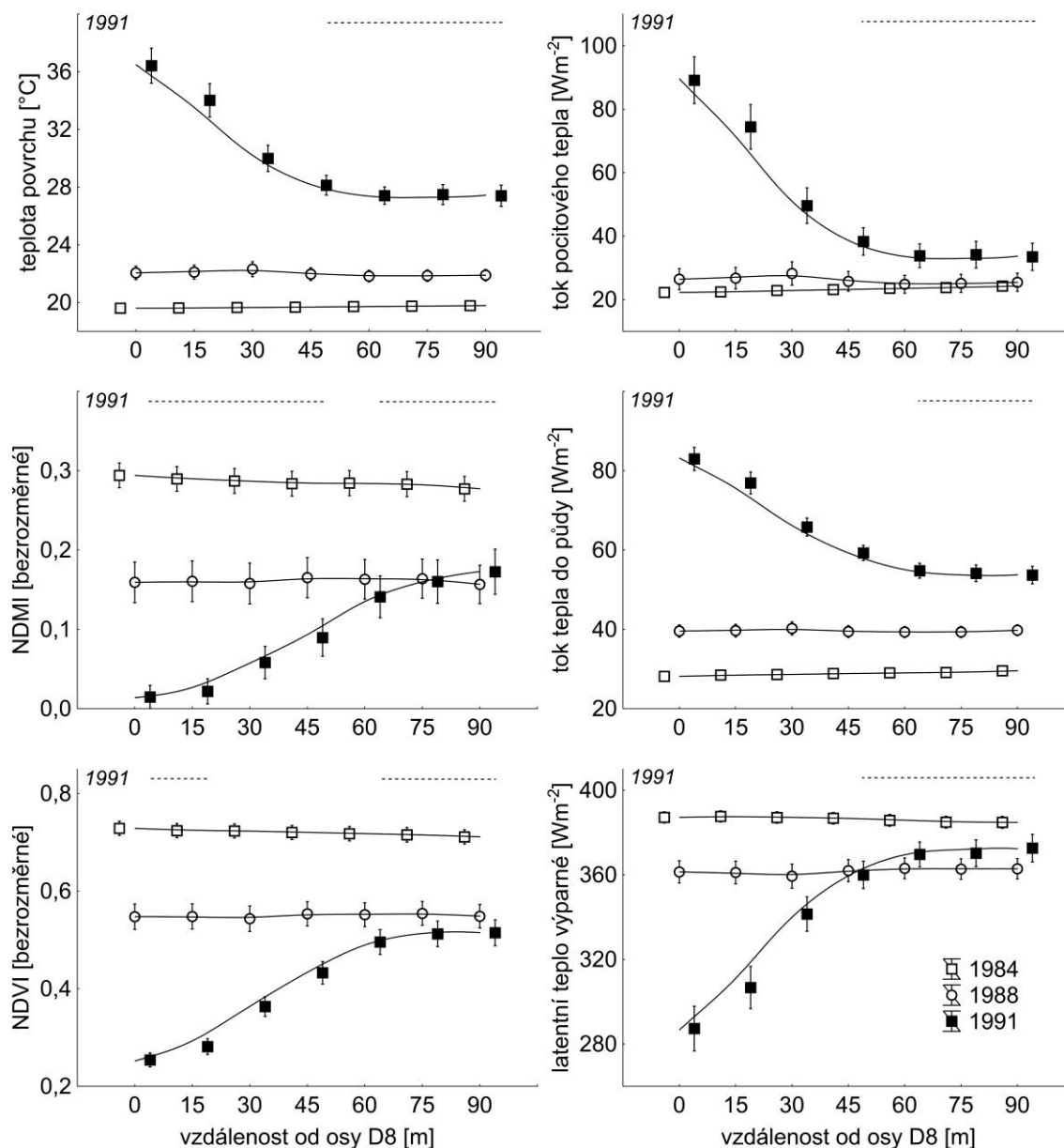
Řady průměrných hodnot parametrů povrchu v letech výstavby D8 (rok 1991 u úseku č. 1 a rok 1995 u úseku č. 2) byly použity k výpočtu, jak by se povrch v daném místě choval, kdyby výstavba D8 neproběhla, tedy ke stanovení vlivu výstavby D8 na funkční parametry povrchu. Nejprve byly z průměrných hodnot parametrů v jednotlivých liniích spočteny regresní funkce chování funkčních parametrů povrchu v závislosti na kolmé vzdálenosti od osy dálnice. Dále byly s pomocí těchto funkcí spočteny absolutní rozdíly hodnot tepelné bilance a objemu evapotranspirované vody v době před výstavbou dálnice a v době její výstavby následujícím způsobem: Byly spočteny hodnoty regresních funkcí v 90 m vzdálenosti od osy D8 (za níž se její vliv již nepředpokládá). Byla tak získána taková hodnota parametru, jakou by povrch měl, kdyby neprobíhala výstavba D8. Vynásobením této hodnoty šířkou zkoumaného pásu krajiny (180 m) a délkou úseku tak byly spočteny úhrny energií a vypařené vody pro 180 m široký pruh D8 a jejího okolí, pro dobu před její výstavbou. Poté byly

vypočteny plochy pod danými regresními funkcemi a dopočítány hodnoty tepelné bilance a objemu evapotranspirované vody v témže 180 m širokém pruhu, popisující území ve stavu ovlivnění dálnicí D8.

Na absolutní hodnoty parametrů povrchu, vypočtené výše popsaným způsobem, může mít vliv i okamžitý stav počasí a chod počasí v aktuální sezoně. Proto byl pro účely porovnání průměrných hodnot parametrů povrchu D8 a jejího okolí s okolní širší oblastí tento vliv odstraněn standardizací satelitních dat podle vztahu č. 21 (kapitola 2. Materiály a metody). Pro linie dálnice D8 a jejího okolí pak byly ze standardizovaných satelitních map parametrů povrchu vypočteny aritmetické průměry hodnot těchto parametrů pro pravidelné 15 metrové vzdálenosti od osy D8, stejně jako v případě absolutních hodnot parametrů.

3.2.3. Výsledky

Výsledky ukázaly, že se po odstranění vegetace a započetí stavebních prací na obou úsecích dálnice změnila funkční parametry povrchu do značné vzdálenosti od dálničního tělesa. Potvrzena byla i hypotéza o změně tepelné bilance povrchu v okolí dálnice. V obou dálničních úsecích se projevil změny; odstranění vegetace (pokles NDVI), pokles vlhkosti povrchu (NDMI), vzrůst povrchové teploty a změna tepelné bilance povrchu. Na úseku č. 1 (Obr. 6) jsou na satelitních snímcích z let 1984 a 1988 hodnoty všech parametrů povrchu v příčném profilu trasy budoucí dálnice poměrně vyrovnané. Průměrné hodnoty ze žádných dvou sousedních bodů, vzdálených vždy 15 m se od sebe v těchto letech průkazně neliší (ANOVA, $p > 0,05$). Satelitní snímek z času výstavby D8 v roce 1991 však ukazuje výrazný trend změny parametrů povrchu od osy D8 do větší kolmé vzdálenosti od jejího tělesa. Tento trend přestává být průkazný až v řádu desítek metrů od osy dálnice (test průkaznosti rozdílů hodnot parametrů mezi sousedními body - ANOVA, Bonferroniho test, $p > 0,05$).



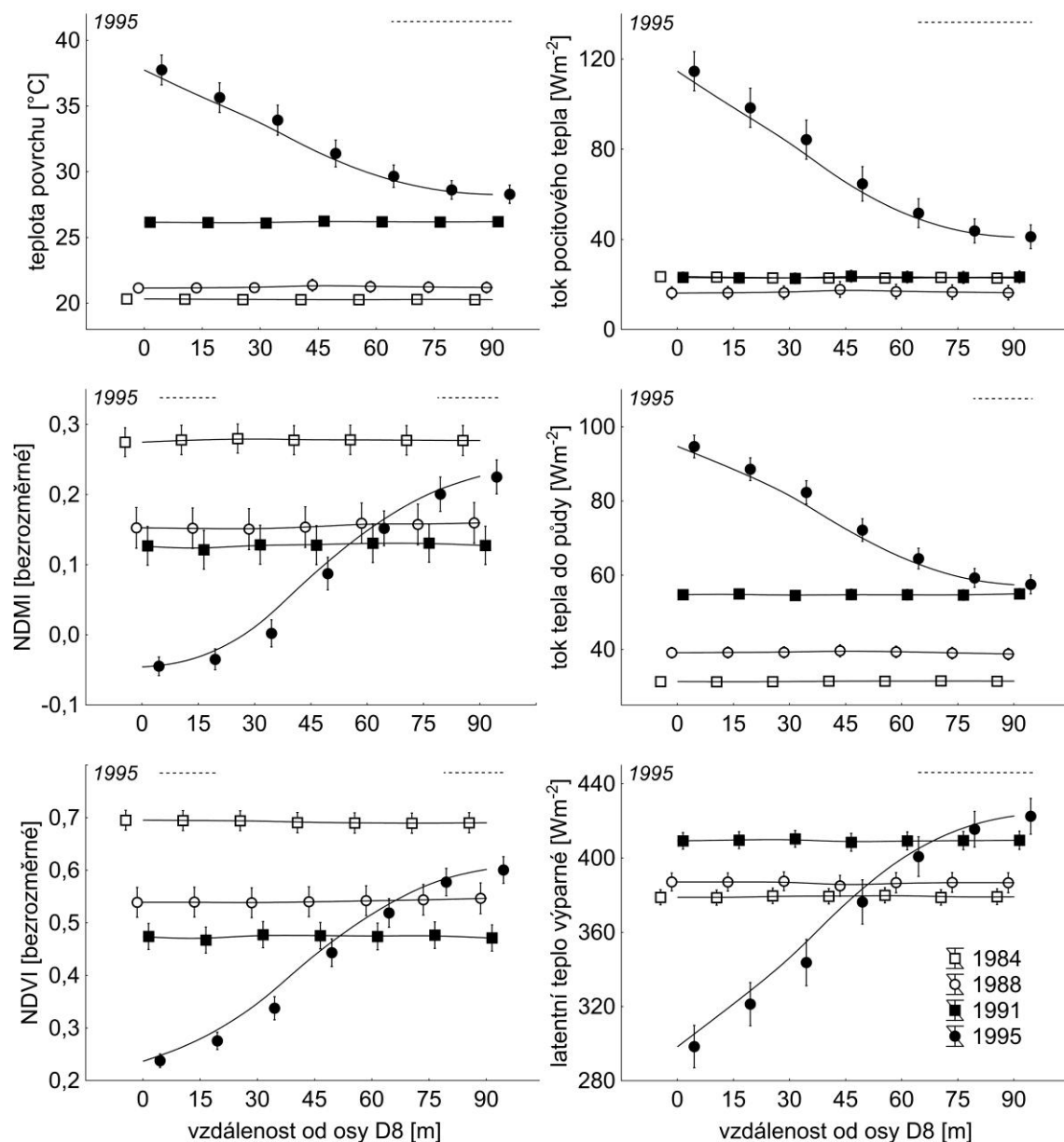
Obr. 6: Změny hodnot (průměr, 99% konfidenční interval) parametrů povrchu v příčném profilu dálnice D8 a jejího okolí v úseku č. 1. Hodnota 0 na ose x značí osu D8, hodnota 90 značí 90 m kolmou vzdálenost od osy D8. Křivky znázorňují trend změny parametrů (zobrazeny jako polynomické funkce spočtené metodou vážené vzdálenosti). Vodorovné čárkované linie nad grafy označují pro rok výstavby (1991) jednotlivé sousední body, jejichž hodnoty se od sebe průkazně neliší (ANOVA, Bonferroniho test, $p > 0,05$). V letech předcházejících výstavbě D8 se hodnoty žádných dvou sousedních bodů od sebe průkazně neliší (ANOVA, $p > 0,05$).

V roce 1991 vykazují hodnoty NDVI i NDMI trend růstu v kolmém směru od osy D8, stabilizují se průkazně až ve vzdálenosti přes 60 m od osy. Zároveň ve stejném směru klesá radiační teplota povrchu T_s z průměrných 36,4 °C v ose dálnice k cca 28 °C ve vzdálenosti přes 45 m (Tab. 9). Průměrná hodnota toku latentního tepla výparného roste se vzdáleností od osy D8 z průměrné hodnoty 287,3 Wm^{-2} na cca 370 Wm^{-2} ve více než 45 m vzdálenosti. Průměrná hodnota toku tepla do půdy klesá z 83 Wm^{-2} v ose D8 k cca 54 Wm^{-2} ve více než 60 m vzdálenosti. Podobně průměrná hodnota toku pocitového tepla klesá se vzdáleností od osy D8 z 89,1 Wm^{-2} na méně než 40 Wm^{-2} v 45 m vzdálenosti.

Tab. 9: Hodnoty parametrů povrchu (průměr ± směrodatná odchylka) v různých kolmých vzdálenostech (Z) od osy D8 pro úsek č. 1 v roce 1991 (D8 ve výstavbě).

Z	NDVI	NDMI	G	H	λE	T_s
[m]	[bezrozm.]	[bezrozm.]	[Wm^{-2}]	[Wm^{-2}]	[Wm^{-2}]	[°C]
0	0,25 ± 0,14	0,01 ± 0,14	83,0 ± 27,3	89,1 ± 68,6	287,3 ± 98,4	36,4 ± 11,3
15	0,28 ± 0,15	0,02 ± 0,15	79,6 ± 25,8	74,4 ± 65,4	306,7 ± 92,9	34,0 ± 10,7
30	0,36 ± 0,19	0,06 ± 0,19	65,8 ± 21,2	49,6 ± 52,4	341,5 ± 75,7	30,0 ± 8,5
45	0,43 ± 0,21	0,09 ± 0,22	59,3 ± 17,8	38,3 ± 40,2	360,0 ± 60,2	28,1 ± 6,4
60	0,50 ± 0,24	0,14 ± 0,25	54,8 ± 17,5	33,8 ± 34,7	369,7 ± 54,7	27,4 ± 5,6
75	0,51 ± 0,24	0,16 ± 0,25	54,1 ± 19,5	34,2 ± 39,2	370,2 ± 59,1	27,5 ± 6,5
90	0,51 ± 0,25	0,17 ± 0,26	53,7 ± 20,6	33,5 ± 40,0	372,6 ± 60,7	27,4 ± 6,8

Velmi podobné výsledky ukazuje úsek č. 2 (Obr. 7). Na satelitních snímcích z let 1984, 1988 a 1991 jsou hodnoty všech parametrů povrchu v příčném profilu trasy budoucí dálnice vyrovnané a průměrné hodnoty žádných dvou sousedních bodů se od sebe v těchto letech průkazně neliší (ANOVA, $p > 0,05$). Avšak satelitní snímek z času výstavby D8 v roce 1995 ukazuje výrazný trend změny parametrů povrchu od osy D8 do větší kolmé vzdálenosti od jejího tělesa. I zde tento trend přestává být průkazný až v řádu desítek metrů od osy dálnice (test průkaznosti rozdílů hodnot parametrů mezi sousedními body - ANOVA, Bonferroniho test, $p > 0,05$).



Obr. 7: Změny hodnot (průměr, 99% konfidenční interval) parametrů povrchu v příčném profilu dálnice D8 a jejího okolí v úseku č. 2. Hodnota 0 na ose x značí osu D8, hodnota 90 značí 90 m kolmou vzdálenost od osy D8. Křivky znázorňují trend změny parametrů (zobrazeny jako polynomické funkce spočtené metodou vážené vzdálenosti). Vodorovné čárkované linie nad grafy označují pro rok výstavby (1995) jednotlivé sousední body, jejichž hodnoty se od sebe průkazně neliší (ANOVA, Bonferroniho test, $p > 0,05$). V letech předcházejících výstavbě D8 se hodnoty žádných dvou sousedních bodů od sebe průkazně neliší (ANOVA, $p > 0,05$).

V roce 1995 vykazují hodnoty NDVI i NDMI trend růstu v kolmém směru od osy D8, stabilizují se průkazně až ve vzdálenosti přes 75 m od osy (Tab. 10). Zároveň ve stejném směru klesá radiační teplota povrchu T_s z průměrných cca 37,7 °C v ose dálnice k cca 28 °C ve vzdálenosti přes 60 m. Průměrná hodnota toku latentního tepla výparného roste se vzdáleností od osy D8 z průměrné hodnoty 298,4 Wm^{-2} na více než 400 Wm^{-2} v 60 m vzdálenosti. Průměrná hodnota toku tepla do půdy klesá z 94,7 Wm^{-2} v ose D8 na méně než 60 Wm^{-2} ve vzdálenosti přes 75 m. Podobně průměrná hodnota toku pocitového tepla klesá se vzdáleností od osy D8 ze 114,6 Wm^{-2} na méně než 52 Wm^{-2} v 60 m vzdálenosti.

Tab. 10: Hodnoty parametrů povrchu (průměr ± směrodatná odchylka) v různých kolmých vzdálenostech (Z) od osy D8 pro úsek č. 2 v roce 1995 (D8 ve výstavbě).

Z	NDVI	NDMI	G	H	λE	T_s
[m]	[bezrozm.]	[bezrozm.]	[Wm^{-2}]	[Wm^{-2}]	[Wm^{-2}]	[°C]
0	0,24 ± 0,11	-0,04 ± 0,11	94,7 ± 25,8	114,6 ± 73,7	298,4 ± 96,9	37,7 ± 9,7
15	0,28 ± 0,14	-0,03 ± 0,13	88,6 ± 25,9	98,4 ± 73,5	321,3 ± 98,9	35,6 ± 9,6
30	0,34 ± 0,19	0,00 ± 0,16	82,3 ± 26,7	84,2 ± 73,5	343,7 ± 105,8	33,9 ± 9,7
45	0,44 ± 0,22	0,09 ± 0,20	72,2 ± 25,7	64,6 ± 65,1	376,3 ± 10,9	31,4 ± 8,7
60	0,52 ± 0,23	0,15 ± 0,21	64,5 ± 23,6	51,6 ± 54,3	400,8 ± 90,9	29,7 ± 7,2
75	0,58 ± 0,22	0,20 ± 0,21	59,3 ± 21,6	43,8 ± 45,1	415,5 ± 81,4	28,6 ± 6,0
90	0,60 ± 0,22	0,23 ± 0,21	57,5 ± 21,6	41,1 ± 44,7	422,5 ± 81,7	28,3 ± 5,9

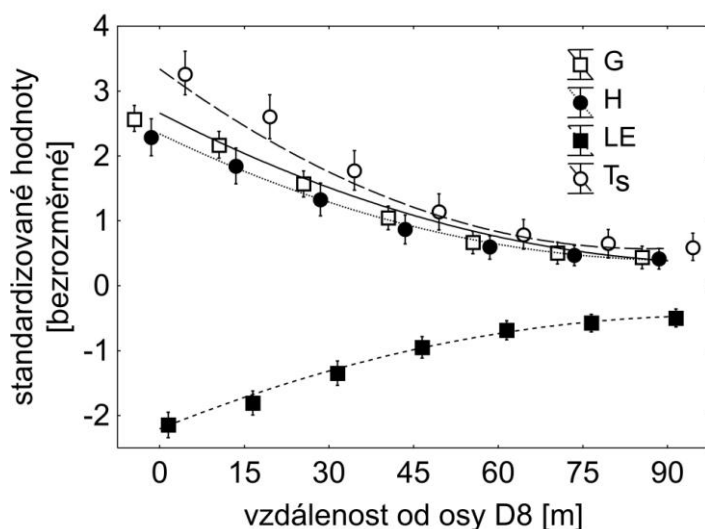
3.2.4. Diskuze

Pás krajiny v trase dálnice D8 prošel významnými změnami. Z místa tělesa dálnice o šířce 26,5 m byla zcela odstraněna vegetace a byl nově budován zpevněný povrch. Výstavba však zasáhla i mnohem širší území, než tento pruh. Byly budovány silniční nájezdy, odpočívadla a související dálniční infrastruktura. Kromě toho se v okolí dálnice z důvodu výhodného dopravního spojení nejčastěji budují průmyslové zóny a skladové haly o značných rozlohách. Vlastní výstavba dálnice s sebou tedy nese zástavbu mnohem širšího území s významným vlivem na množství vegetace, která se zde nachází.

Výsledky této studie tento efekt prokázaly. Zatímco v letech před výstavbou se v příčném profilu dálnice a jejího okolí parametry povrchu neliší, v roce výstavby dálnice vykazují jasný trend, který se netýká jen vlastního dálničního tělesa, ale dosahuje do několikanásobné kolmé vzdálenosti od něj. Pokles NDVI je následován poklesem vlhkosti povrchu (NDMI). Je to dáno tím, že vegetace zvyšuje drsnost povrchu a zabraňuje tím rychlému přímému odtoku vody, podporuje její vsakování a její výpar (Domec et al. 2010; Nadezdina et al. 2009). Omezení množství vegetace s sebou tedy přináší i snížení povrchové vlhkosti. Vzhledem k tomu, že vegetace s dostatečným množstvím vody v povrchových vrstvách půdy má schopnost výparem vody při evapotranspiraci snižovat povrchovou teplotu (Fitter et Hay 2002; Nobel 1999), vzrůstá po odstranění vegetace a poklesu vlhkosti povrchu povrchová teplota. Pokles NDVI a NDMI v prostoru budované dálnice je proto následován růstem povrchové teploty. S poklesem množství vegetace klesá tok latentního tepla výparného, tedy množství energie spotřebované evapotranspirací na výpar. Tato energie, která se na výpar nespoteřebuje je nově spotřebována na tok tepla do půdy a tok pocitového tepla. Výsledky ukázaly, že úbytek toku latentního tepla výparného, způsobený ztrátou vegetace se rozdělí do toku tepla do půdy a toku pocitového tepla přibližně v poměru 1:2 (tedy jeden díl do toku tepla do půdy a dva díly do toku pocitového tepla). Nárůst toku tepla do půdy lze též přičítat odstranění či snížení množství vegetace, která působí jako účinný tepelný izolátor proti průniku tepelné energie slunečního záření do půdy (Migała et al. 2014). Zvýšená hodnota toku pocitového tepla na plochách zcela zbavených vegetace se projevuje ve zvýšené teplotě povrchu v podobné míře, jaká byla v podobných podmínkách prokázána v jiných studiích (Hesslerová et al. 2013).

Trendy změny hodnot parametrů povrchu (Obr. 6 a 7) se vzdáleností od osy dálnice ukazují, jak se liší absolutní hodnoty zkoumaných veličin. Tyto absolutní hodnoty však do určité míry závisejí na okamžitých meteorologických podmínkách v čase měření a pořízení satelitního snímku. Ukazují to linie hodnot z doby před výstavbou dálnice, které sice nevykazují žádný průkazný trend, v absolutní míře se však mohou lišit podle okamžitého stavu počasí, intenzity růstu vegetace, množství srážek v příslušné vegetační sezóně a druhu pěstovaných zemědělských plodin v okolí dálnice. Pro eliminaci vlivu těchto faktorů byla satelitní data prvků energetické bilance a teploty povrchu pro celou oblast (1 315 km²) standardizována. Vznikly tak satelitní mapy těchto parametrů povrchu, z nichž byly (shodným způsobem jako v případě absolutních

hodnot) vypočteny jejich bezrozměrné průměrné hodnoty pro povrch dálnice a jejího okolí v jejím příčném profilu. Obr. 8 ukazuje závislost standardizovaných bezrozměrných průměrných hodnot parametrů povrchu na kolmé vzdálenosti od osy dálnice kumulativně pro úsek č. 1 v roce 1991 i úsek č. 2 v roce 1995.



Obr. 8: Změny hodnot (průměr, rozsah výběru bez odlehlých hodnot a extrémů) standardizovaných parametrů povrchu v příčném profilu dálnice D8 a jejího okolí, kumulativně pro oba dva úseky. G je tok tepla do půdy, H je tok pocitového tepla, λE je tok latentního tepla výparného, T_s je radiční teplota povrchu. Nulová hodnota na ose y je průměrná hodnota všech parametrů v širší oblasti v okolí dálnice D8 (1 315 km²).

Hodnota 0 na ose y v grafu reprezentuje průměrnou hodnotu parametrů v celé oblasti zpracovaných satelitních snímků (1 315 km²). Body pak reprezentují průměrné odchylky hodnot parametrů povrchu od průměru celé oblasti v určité kolmé vzdálenosti od osy dálnice. Body parametrů povrchu ve všech letech před výstavbou dálnice by se v celém profilu pohybovaly blízko okolo hodnoty 0 a nevykazovaly by žádný trend, jak ukázaly grafy absolutních hodnot (Obr. 6 a 7). Průměrné hodnoty parametrů povrchu z let výstavby dálnice umožňují stanovit obecný trend vlivu dálnice na energetickou bilanci povrchu svého okolí, vyjádřený liniemi polynomických funkcí. Umožňují také stanovit vzdálenost, do jaké se tento vliv v kolmém směru od dálnice projeví. Absolutní hodnoty parametrů povrchu v úseku č. 1 ukazují, že ke stabilizaci průměrných hodnot toku latentního tepla výparného, toku pocitového tepla a povrchové teploty dochází průkazně ve více než 45 m kolmé vzdálenosti, a ke stabilizaci průměrných hodnot toku

tepla do půdy v 60 m kolmé vzdálenosti (Obr. 6). Absolutní hodnoty parametrů povrchu v úseku č. 2 ukazují, že ke stabilizaci průměrných hodnot toku latentního tepla výparného, toku pocitového tepla a povrchové teploty dochází průkazně ve více než 60 m kolmé vzdálenosti a ke stabilizaci průměrných hodnot toku tepla do půdy v 75 m kolmé vzdálenosti (Obr. 7). Přesto lze v úseku č. 2 i přes neprůkaznost rozdílů v sousedních průměrných hodnotách bodů sledovat trend změny. Tuto skutečnost zachycují polynomické funkce změny standardizovaných hodnot parametrů povrchu se vzdáleností od osy dálnice (Obr. 8). Naznačují, že v obecném pohledu může dojít ke konečné stabilizaci hodnot parametrů povrchu ve vzdálenosti větší než 90 m v kolmém směru od osy dálnice, kde se více přiblíží hodnotě 0 na ose y. Tato vzdálenost může být obecně považována za maximální potenciální rozsah vlivu výstavby dálnice na parametry povrchu ve svém okolí.

Míru vlivu dálnice na své okolí lze vyjádřit regresními funkcemi (Tab. 11), které byly spočteny z průměrných absolutních hodnot energetické bilance a které vyjadřují závislost energetických toků na kolmé vzdálenosti od dálničního tělesa. Znalost míry a rozsahu vlivu dálnice na energetické toky svého okolí umožňuje určit i množství sluneční energie, které se po odstranění vegetace přelije z toku latentního tepla výparného do toku pocitového tepla. Na základě předchozího zkoumání můžeme považovat 90 m vzdálenost od osy dálnice za limit jejího vlivu na své okolí. Pak bude hodnota regresních funkcí funkčních parametrů v bodě $y(90)$ násobená plochou zkoumaného úseku dálnice (180 m široký pruh celého úseku) znamenat množství energie jednotlivých energetických toků v dálnici neovlivněném úseku. Plocha pod jednotlivými regresními funkcemi násobená délkou téhož 180 m širokého pruhu celého úseku pak bude znamenat množství energie jednotlivých energetických toků v úseku již ovlivněném výstavbou dálnice. Lze tak provést srovnání úhrnů tepelných toků a vypařené vody před stavbou dálnice a v průběhu její výstavby.

Tab. 11: Regresní funkce, regresní koeficienty a hodnoty funkcí v 90 m vzdálenosti od osy D8 pro oba studované úseky.

úseky a parametry	regresní funkce	R ²	y(90)
G	$y = 0,004x^2 - 0,759x + 85,41$	0,967	49,5
úsek č. 1	H	$y = 0,011x^2 - 1,624x + 91,06$	0,983
	λE	$y = -0,014x^2 + 2,284x + 283,6$	0,985
			375,76
úsek č. 2	G	$y = 0,001x^2 - 0,599x + 96,19$	0,986
	H	$y = 0,006x^2 - 1,399x + 116,7$	0,992
	λE	$y = -0,007x^2 + 2,11x + 294,1$	0,990
			427,3

Pro toto srovnání uvažujeme, že naměřená sluneční radiace v okamžiku pořízení satelitního snímku bude neměnná v průběhu jedné sledované polední hodiny. Pak výsledky srovnání ukazují, že v celém 180 m širokém pruhu úseku č. 1 dojde v průběhu této hodiny ke snížení toku latentního tepla výparného o 47 MWh (Tab. 12). Tuto energii lze zároveň považovat za míru ochlazovacího efektu, který nově se stavbou dálnice nenastane, resp. o který je krajina připravena. Zároveň to znamená, že se nově v důsledku výstavby z povrchu posuzovaného úseku ve sledované hodině neodpaří 69,1 m³ vody (úbytek o 7,2 %).

Tab. 12: Bilance energetických toků a výparu vody v obou dálničních úsecích. Hodnoty vyjadřují množství energie a vypařené vody v průběhu jedné hodiny na úsecích D8 ve 180 m širokém pruhu. Hodnoty byly vypočteny s použitím regresních funkcí.

vliv D8		G [MWh hod ⁻¹]	H [MWh hod ⁻¹]	λE [MWh hod ⁻¹]	výpar vody [m ³ hod ⁻¹]
úsek č. 1	bez vlivu D8	85,5	58,8	649,3	954,9
	s vlivem D8	107,2	82,4	602,3	885,8
	rozdíl	+21,7	+23,6	-47,0	-69,1
úsek č. 2	bez vlivu D8	80,7	63,1	684,5	1006,7
	s vlivem D8	115,2	112,1	593,0	872,0
	rozdíl	+34,5	+48,9	-91,6	-134,6

V úseku č. 2 bude snížení toku latentního tepla výparného činit 91,6 MWh hod⁻¹ a snížení výparu vody 134,6 m³ hod⁻¹ (úbytek o 13,4 %). Úbytek energie i odpařené vody je zde vyšší proto, že ve sledovaném roce 1995 zde byla celková dopadající krátkovlnná sluneční radiace o 55 Wm⁻² vyšší, než v roce 1991 (Tab. 7).

Uvedené hodnoty (Tab. 12) se vztahují k určitému času pořízení satelitního snímku a pozemního měření meteorologických prvků. Absolutní hodnoty funkčních parametrů a energetické bilance se na obou úsecích mohou meziročně lišit v závislosti na chodu počasí. Zjištěné hodnoty však umožňují vypočítat i dlouhodobější charakteristiku energetické bilance posuzovaného území. Dlouhodobý červnový úhrn celkové dopadající krátkovlnné radiace pro danou oblast činí 550 MJ m⁻² (Tolasz et al. 2007), tedy cca 5,09 kWh m⁻² den⁻¹. Uvážíme-li, že celková čistá radiace činí obecně cca 40 % z této hodnoty, můžeme s pomocí uvedených regresních funkcí (Tab. 11) a zjištěných poměrů rozdělení celkové čisté radiace do jednotlivých energetických toků (Tab. 12) vyčíslit průměrné denní červnové hodnoty toku latentního tepla výparného a množství vypařené vody (Tab. 13). Výpočty ukazují, že v letním období se může výpar vody na stavbou zasaženém úseku č. 1 snížit o 320,9 m³ den⁻¹, což přinese snížení chladícího účinku vegetace o 218,2 MWh den⁻¹. Na stavbou zasaženém úseku č. 2 se v letním období může výpar vody snížit o 290,6 m³ den⁻¹, což přinese snížení chladícího účinku vegetace o 197,6 MWh den⁻¹.

Tab. 13: Tok latentního tepla výparného a množství vypařené vody na celých dálničních úsecích a v přepočtu na 1 km délky úseků. Hodnoty vyjadřují průměrná množství toku latentního tepla výparného a vypařené vody v průběhu jednoho červnového dne ve 180 m širokém pruhu. Hodnoty byly vypočteny s použitím regresních funkcí a dlouhodobého červnového průměru celkové dopadající krátkovlnné radiace.

vliv D8	úsek č. 1		úsek č. 2	
	λE [MWh den ⁻¹]	výpar vody [m ³ den ⁻¹]	λE [MWh den ⁻¹]	výpar vody [m ³ den ⁻¹]
bez vlivu D8	2880,8	4236,5	2553,8	3755,6
s vlivem D8	2662,6	3915,6	2356,2	3465,0
rozdíl	-218,2	-320,9	-197,6	-290,6
rozdíl na 1 km úseku D8	-22,7	-33,4	-22,2	-32,7

O konzistenci celého výpočtu svědčí fakt, že ač byly regresní funkce vypočteny pro dva různé typy různě dlouhých dálničních úseků a byly provedeny v různých letech s odlišnými meteorologickými podmínkami, přesto je vliv D8 na parametry povrchu krajiny v přepočtu na 1 km délky úseku v obou případech téměř stejný. Je možné jej vyjádřit jako snížení výparu průměrně o $33 \text{ m}^{-3} \text{ den}^{-1}$ vody, což přinese snížení chladicího účinku vegetace průměrně o $22,5 \text{ MWh den}^{-1}$, obojí v přepočtu na 1 km délky dálnice.

3.2.5. Závěr

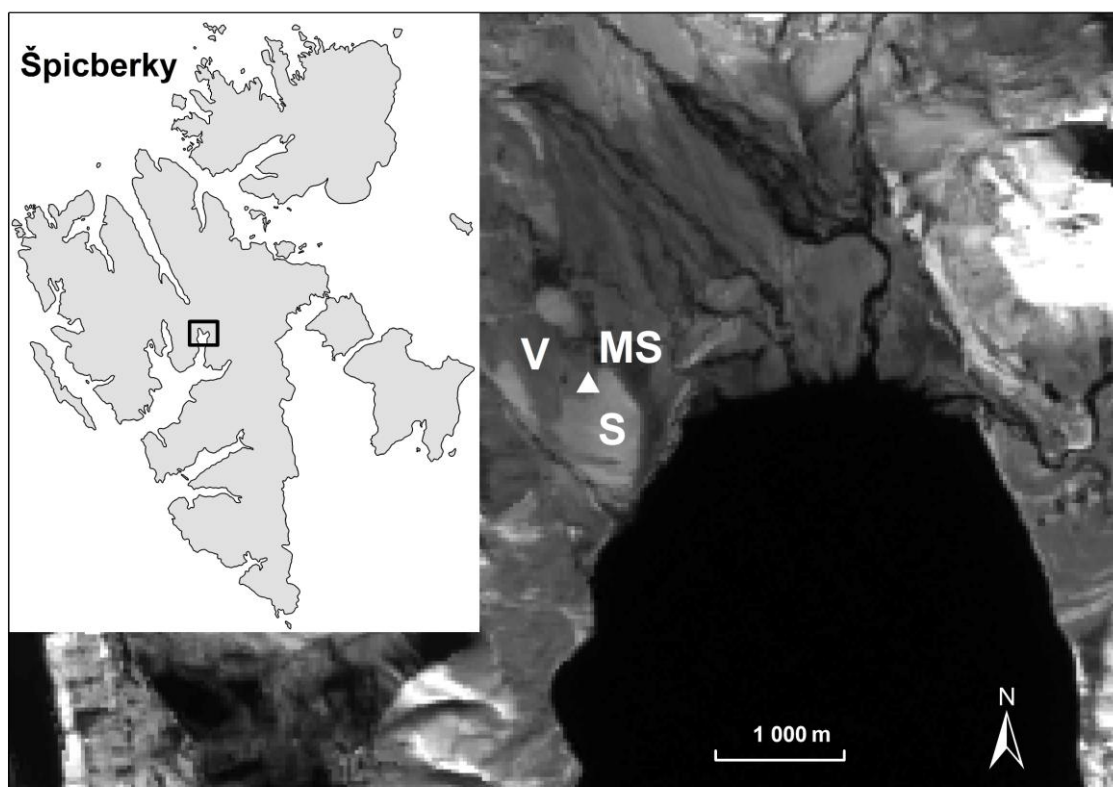
Lze říci, že při výstavbě dálničního tělesa při odstranění vegetace a ztrátě vlhkosti povrchu dojde ke změnám tepelné bilance povrchu. Projeví se omezení evapotranspirace a následný pokles latentního tepla výparného. Energie nespotřebovaná na výpar bude transformována do toku tepla do půdy a do toku pocitového tepla (ohřátí povrchu) v poměru cca 1:2. Tento efekt se projeví nejen v samotném místě dálničního tělesa, ale má podle povahy povrchu okolí vliv do vzdálenosti 45 až 75 m od osy dálnice, nelze však vyloučit ani vliv v 90 m vzdálenosti. Snížení množství vegetace v zasažené ploše přinese snížení evapotranspirace v letním období v průměru o 33 m^3 vody denně na každém kilometru délky dálnice a jejího okolí. Zároveň to znamená snížení chladicího efektu vegetace, vyjádřeném ve snížení množství toku latentního tepla výparného v průměru o $22,5 \text{ MWh}$ denně na každém kilometru délky dálnice a jejího okolí. V obecném pohledu výsledky ukazují jak významnou roli má vegetace při transformaci slunečního záření a jak výrazně ovlivňuje rozsáhlá výstavba umělých ploch energetickou bilanci povrchu.

3.3. Vliv vegetace na energetickou bilanci povrchu arktické tundry

Přes náročné klimatické podmínky se i v arktické tundře souostroví Špicberky vyskytují plochy, pokryté nízkou vegetací, která ke svým metabolickým pochodům využívá sluneční záření a může tak ovlivnit energetickou bilanci povrchu Země. Většinou je však souostroví pokryto ledovcem, nebo obnaženými horninami. Cílem studie bylo porovnat typické arktické povrchy bez vegetace a s vegetací z hlediska energetické bilance povrchu. Hypotézou bylo, že podobně jako v předchozích případech zde bude rozdíl v toku latentního tepla výparného, který by měl být u povrchu s vegetací díky její evapotranspiraci vyšší, než na povrchu bez vegetace. Vzhledem k minimálnímu množství nízké vegetace by však tento rozdíl měl být poměrně malý.

3.3.1. Popis lokality

Ke studii byla vybrána několikahektarová plochá zarovnaná terasa v nadmořské výšce 15 m n. m. u zátoky Petuniabukta fjordu Billefjorden ve vzdálenosti několika set metrů od pobřeží (Obr. 9). Souvislá část této plochy je pokryta obnaženou horninou - suti výplavového kuželu, druhá souvislá část plochy je pokryta nízkou vegetací typické střední arktické tundry s dryádkou osmiplátečnou (*Dryas octopetala*) a vrbou polární (*Salix polaris*) (Láska et al. 2012). Rostliny dosahují výšky do 5-7 cm nad povrchem slabě vyvinuté skeletovité půdy. Lokalita se nachází v 78° 42' 11'' sš a 16° 27' 64'' vd. Obě plochy o rozloze několika hektarů jsou od sebe ostře odděleny cca 2 m vysokou strží. Několik desítek metrů od této dělicí hranice je na ploše s vegetací umístěna meteorologická stanice, kontinuálně měřící meteorologické prvky. Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2009 zde byla -4,5 °C, průměrná červencová teplota vzduchu byla 7,2 °C. Průměrná rychlost větru v období 2008 - 2012 zde byla 3,9 ms⁻¹, nejvyšší dosáhla hodnoty 12,2 ms⁻¹. Průměrná relativní vlhkost vzduchu v letech 2008 - 2012 přesáhla 80 % (Láska et al. 2012).



Obr. 9: Plocha s vegetací (V) a plocha suťi (S) na pobřeží zátoky Petuniabukta fjordu Billefjorden na satelitním snímku LANDSAT. Trojúhelníková značka MS označuje meteorologickou stanicí na rozhraní obou ploch.

3.3.2. Popis dat a jejich zpracování

Prvky energetické bilance povrchu plochy s vegetací a plochy výplavového kuželu (suťové pole bez vegetace) byly vypočteny s použitím metod popsanych v kapitole 2. Materiály a metody. K výpočtu byl použit satelitní snímek ze senzorů OLI a TIRS družice LANDSAT 8 ze dne 15.7.2014, ve 12:04 GMT a meteorologické prvky, naměřené výše uvedenou meteostanicí na rozhraní obou ploch v okamžiku pořízení satelitního snímku (Tab. 14). Oproti senzorům TM a ETM+ družic LANDSAT 5 a LANDSAT 7 byly pro radiometrické a atmosférické korekce satelitního snímku ze senzorů OLI a TIRS družice LANDSAT 8 užity přístrojové konstanty a provozní údaje, publikované nově standardně v metadatech daného satelitního snímku. V každé z obou ploch těsně u hranice jejich ostrého rozhraní byly vybrány obdélníkové plochy o velikosti 290 pixelů (velikost pixelu 30 m). Pro tyto plochy byly vypočteny prvky energetické bilance a funkčních parametrů povrchu.

Tab. 14: Meteorologické prvky, naměřené v okamžiku pořízení satelitního snímku na lokalitě rozhraní ploch s vegetací a bez vegetace.

meteorologický prvek	hodnota	jednotka
teplota povrchu	10,7	°C
vlhkost vzduchu	69,4	bezrozm.
rychlost větru	3,2	ms ⁻¹
celková dopadající krátkovlnná radiace	521,2	Wm ⁻²

3.3.3. Výsledky

Vzhledem k tomu, že satelitní snímek byl pořizován za jasného dne, v okamžiku, kdy nad celou zátokou nebyla žádná oblačnost, činila pyranometrem změřená celková dopadající krátkovlnná radiace 521,2 Wm⁻². Radiační bilance (Tab. 15) ukazuje, že vypočtené hodnoty celkové dopadající krátkovlnné radiace se pro oba povrchy mírně lišily, pro povrch s vegetací tato hodnota činila 508 Wm⁻², pro povrch suti pak 513 Wm⁻². Albedo povrchu s vegetací činilo 15,8 % na povrchu bez vegetace 21,8 %. Celková vypočtená dopadající dlouhovlnná radiace činila pro oba povrchy 270 Wm⁻². Vypočtená emisivita povrchu s vegetací činila 99 %, na povrchu bez vegetace 80 %.

Tab. 15: Radiační bilance na povrchu vegetace a suti. Průměrné hodnoty ± směrodatné odchylky celkové krátkovlnné radiace dopadající ($R_{S\downarrow}$) a odražené, ($R_{S\uparrow}$), albeda povrchu (α), celkové dlouhovlnné radiace dopadající ($R_{L\downarrow}$) a vyzářené ($R_{L\uparrow}$), a emisivity povrchu (ϵ).

druh povrchu	$R_{S\downarrow}$ [Wm ⁻²]	$R_{S\uparrow}$ [Wm ⁻²]	α [%]	$R_{L\downarrow}$ [Wm ⁻²]	$R_{L\uparrow}$ [Wm ⁻²]	ϵ [%]
vegetace	508±5,2	80±6,3	15,8±1,2	270±0,2	387±4,4	99,0±0,1
sut'	513±4,0	112±4,6	21,8±0,9	270±0,1	391±1,6	80,0±0,01

Celková čistá radiace, která vstupuje do tepelné bilance povrchu se pro oba typy povrchů mírně liší (Tab. 16). Vypočtená celková čistá radiace pro povrch s vegetací činila 311 Wm⁻², pro povrch bez vegetace 280 Wm⁻². Vegetace využila z energie vypočtené celkové čisté radiace k evapotranspiraci až 75 % tedy 234 Wm⁻².

Na tok pocitového tepla bylo spotřebováno 18 %, tedy 55 Wm^{-2} a na tok tepla do půdy 7 %, tedy 22 Wm^{-2} z celkové čisté radiace pro povrch s vegetací. Na povrchu suti bylo na tok latentního tepla výparného z energie celkové čisté radiace využito 21 %, tedy 59 Wm^{-2} . Na tok pocitového tepla bylo spotřebováno 62 %, tedy 173 Wm^{-2} a na tok tepla do půdy 17 %, tedy 48 Wm^{-2} z celkové čisté radiace pro povrch s vegetací. Rozdíl povrchových teplot mezi oběma plochami byl $16,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

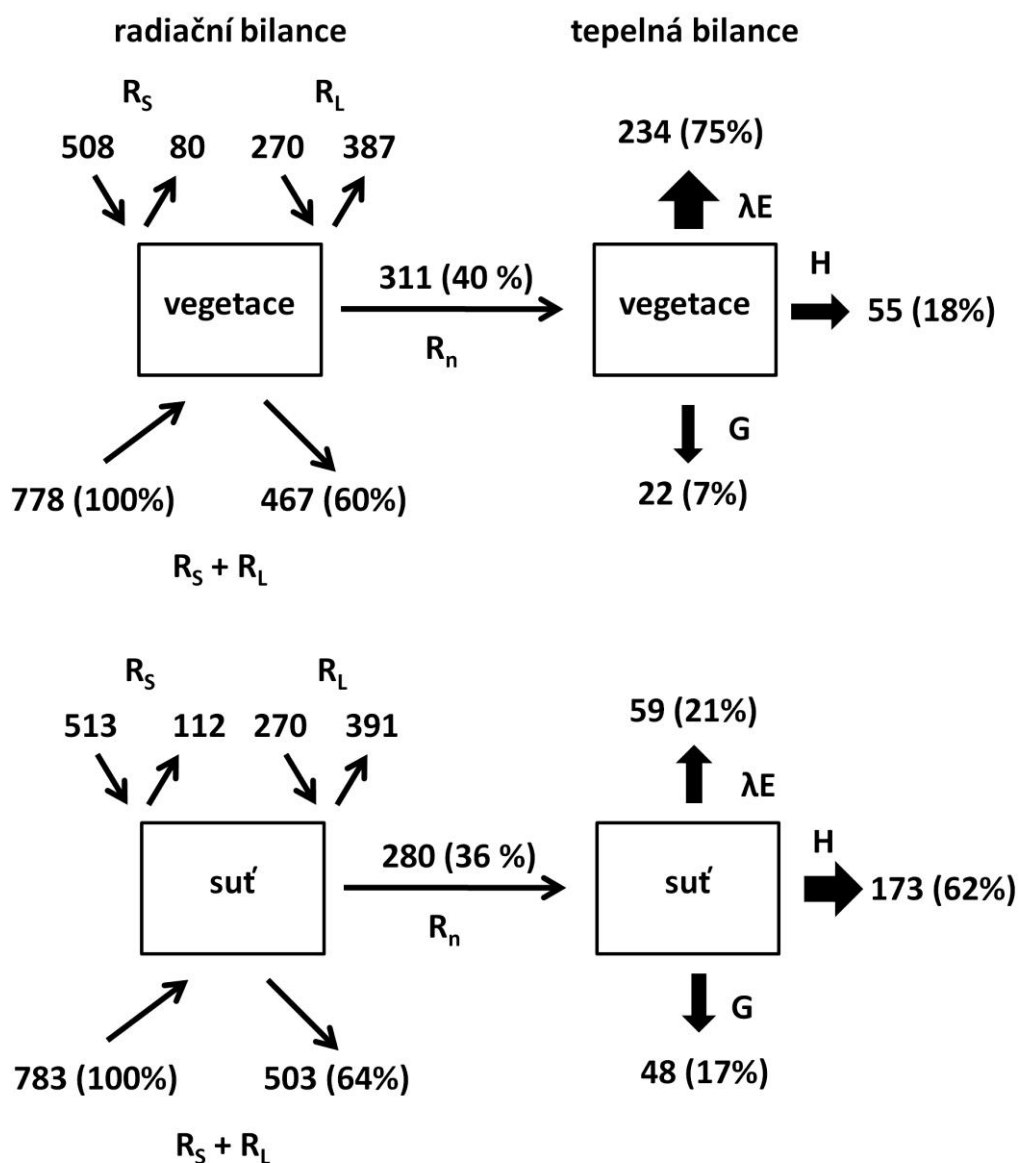
Tab. 16: Tepelná bilance na povrchu vegetace a suti na pobřeží zátoky Petuniabukta fjordu Billefjorden. Průměrné teploty \pm směrodatné odchylky parametrů teploty povrchu (T_S), celkové čisté radiace (R_n), latentního tepla výparného (λE), zjevného tepla (H) a toku tepla do půdy (G).

druh povrchu	T_S [$^\circ\text{C}$]	R_n [Wm^{-2}]	λE [Wm^{-2}]	H [Wm^{-2}]	G [Wm^{-2}]
vegetace	$15,1 \pm 0,8$	$311 \pm 9,8$	$234 \pm 16,4$	$55 \pm 7,1$	$22 \pm 1,3$
sut'	$31,5 \pm 0,3$	$280 \pm 5,1$	$59 \pm 3,1$	$173 \pm 3,4$	$48 \pm 0,6$

3.3.4. Diskuze

Výsledky ukázaly, že i v prostředí arktické tundry se vliv vegetace na tepelné toky energetické bilance podle očekávání projevuje, překvapivá však byla míra vlivu.

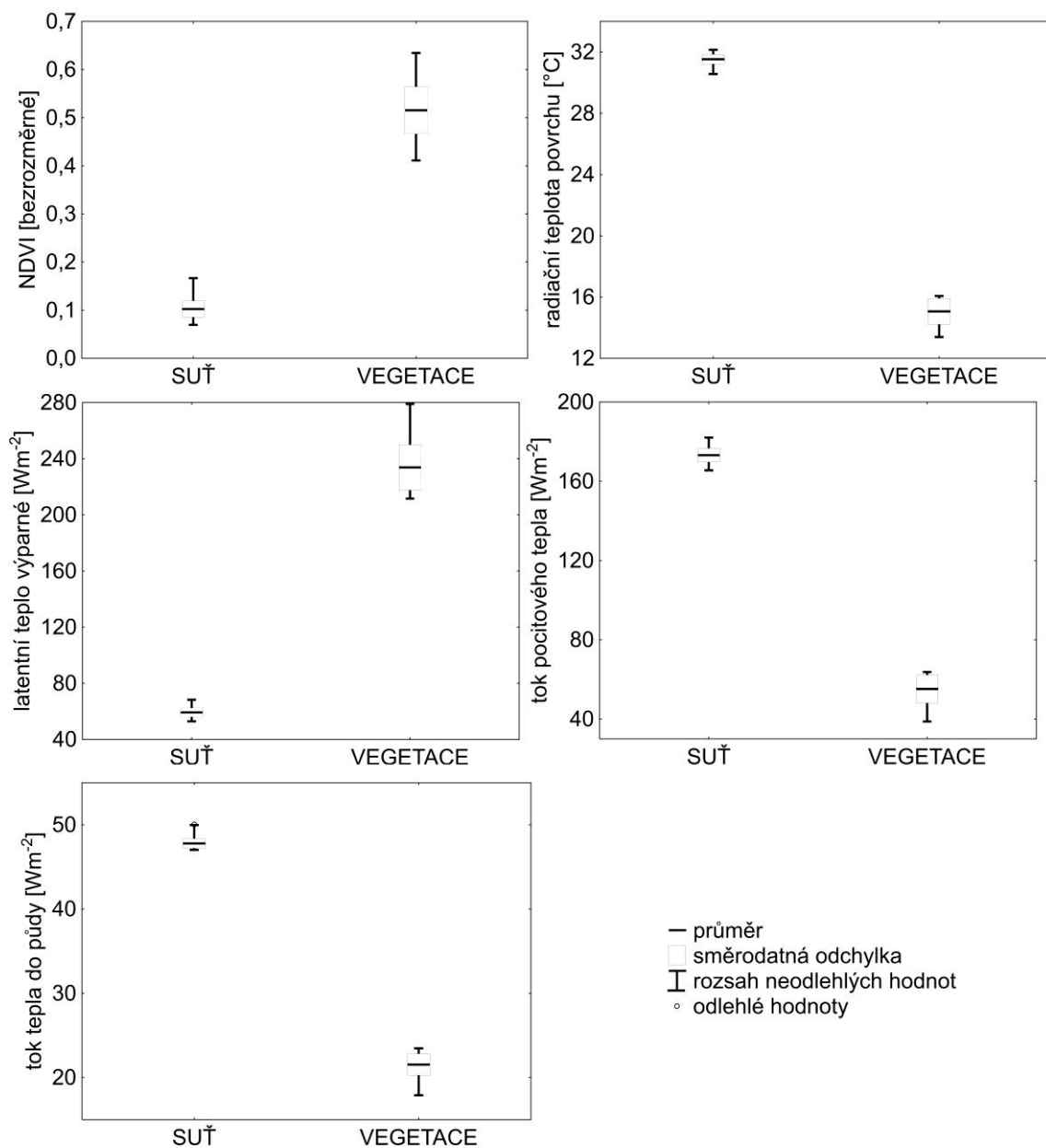
Celková energetická bilance (Obr. 10) ukazuje, že hodnota celkové čisté radiace, která vstupuje do tepelných toků povrchu, se pro oba typy povrchu liší. Na tomto rozdílu se podílí několik faktorů. Plocha s vegetací je horizontálně trochu více ukloněna než plocha suti, proto je přepočtené množství dopadající krátkovlnné radiace o několik jednotek Wm^{-2} nižší. Mnohem větší roli však hraje albedo (odrazivost) povrchu, které má plocha s vegetací poměrně výrazně nižší, než obnažený povrch suti. Na povrchu s vegetací tak setrvává o několik desítek Wm^{-2} energie z dopadající krátkovlnné radiace více. Oproti tomu rozdíl v množství energie, vyzářené povrchy suti a vegetace ve formě dlouhovlnného záření není přes rozdílnou emisivitu příliš významný a činí několik jednotek Wm^{-2} . Je to dáno tím, že povrch suti má sice výrazně nižší emisivitu, jeho teplota je však mnohem vyšší. Povrch s vegetací celkově využije jako celkovou čistou radiaci pro tepelné toky o 4 % energie více, než povrch suti.



Obr. 10: Radiační a tepelná bilance ploch s vegetací a suť. Hodnoty celkové dopadající a odražené krátkovlnné radiace (R_S), celkové dopadající a vyzářené dlouhovlnné radiace (R_L), celkové čisté radiace (R_n), toku latentního tepla výparného (λE), toku pocitového tepla (H) a toku tepla do půdy (G) jsou uvedeny ve Wm^{-2} . Celková čistá radiace je pro účely znázornění tepelné bilance vzata jako 100 % energie tepelné bilance.

Mnohem větší rozdíly v poměrech toků energie ukazuje tepelná bilance (Obr. 11). Rozdíl v hodnotě toku tepla do půdy na obou plochách lze přičíst tomu, že vegetace má izolační vliv pro přenos tepelné energie (Migała et al. 2014; Brázdil et al. 1988), který způsobuje, že na obnaženém povrchu může do půdy přejít ve srovnání s vegetací více

než dvojnásobek solární energie. Ještě větší rozdíl je mezi plochami v toku latentního tepla výparného, který je na plochách s vegetací ve srovnání s plochami suti bezmála čtyřnásobný. Porost vegetace na zkoumaných plochách je sice zapojený, nicméně poměrně řídký, s výškou několik jednotek cm. Otázkou tedy zůstává, nakolik se na významném výparu z vegetačního povrchu podílela transpirace rostlin a čistý výpar z povrchu, tedy jaký je podíl transpirace a evaporace. Tedy zda za daných podmínek malého množství vegetace není vysoká hodnota toku latentního tepla výparného dána především evaporací. Přesto i v tomto případě by bylo možno značnou část tohoto efektu přisoudit vegetaci jako takové. Vegetace pomáhá v náročných povětrnostních podmínkách udržet mělký půdní profil i tím, že zvyšuje drsnost povrchu, navíc ve svých rostlinných tělech a rhizosféře zadržuje množství vody (Larcher 2003; Kirkham 2004) a napomáhá tak udržení vlhkosti povrchu a tím i výparu procesem evaporace. Některá bodová měření energetických toků na různých druzích povrchu v oblasti Špicberk (Brázdil et al. 1988) ukázala, že povrch s velmi mělkým humusovým profilem a tenkou vrstvou mechorostů vykázal v poledních hodinách hodnoty latentního tepla výparu až 62 % (absolutně 160 Wm^{-2}) z celkové čisté radiace (260 Wm^{-2}). Obdobné poměry rozdělení tepelných toků v tepelné bilanci uvádějí pro bodová měření porostu mechů a trav do 3 cm výšky v poněkud nižších zeměpisných šířkách na Shetlandských ostrovech Prošek et al. (1998). Při srovnání s poněkud rozvinutějším a vyšším porostem v této studii, který vykázal hodnoty latentního tepla výparu 75 % (absolutně 234 Wm^{-2}) z celkové čisté radiace (311 Wm^{-2}) se ukazuje množství vegetace na aktivním povrchu jako důležitý faktor transformace sluneční energie i v extrémních podmínkách vysoké Arktidy.



Obr. 11: Funkční parametry a prvky tepelné bilance povrchu se sutí a s vegetací na pobřeží zátoky Petuniabukta fjordu Billefjorden na satelitním snímku LANDSAT. Povrch sutí se ve všech funkčních parametrech průkazně liší od povrchu vegetace (Mann-Whitneyův test, $p < < 0,01$).

3.3.5. Závěr

Výsledky studie ukázaly, že i v podmínkách vysokých zeměpisných šířek může mít i malé množství vegetace významný vliv na osud energie slunečního záření v prostředí. Na území Špicberk dochází v poslední době k rychlým změnám místního klimatu

ve smyslu zvyšování teploty vzduchu, jako součásti širší světové klimatické změny. Taková změna podmínek prostředí může mít vliv i na budoucí rozšíření vegetace a jejího množství. Ta může jako součást aktivního povrchu zpětně ovlivňovat proudění vzduchu a místní klima celé oblasti a podílet se tak jako jeden z faktorů na dalších klimatických změnách. Je tak zřejmá potřeba dalšího výzkumu této úlohy vegetace v tvorbě místního klimatu polárních oblastí, která je dosud spíše opomíjena.

4. Shrnutí a závěr

Výsledky stanovení funkčních parametrů povrchu Země a povrchové energetické bilance z různých lokalit naznačují, jak masivní vliv má zřejmě vegetace na disipaci sluneční energie a její transformaci na povrchu Země, s důsledky především pro klimatické podmínky různých území. Studie funkčních parametrů povrchu hnědouhelné výsypky ukázala, jak velký chladicí účinek na povrch Země může mít vegetace a jak manipulace s jejím rozsahem ve velkých měřítcích tento proces ovlivňuje. Studie vlivu výstavy dálnice na energetické toky na povrchu Země ukázala velkou šíři tohoto vlivu, s dopadem na toky vody v krajině. Studie rozdílů energetických parametrů různých druhů povrchů v arktické tundře ukázala, jak významný vliv může v tomto směru mít i nízká vegetace v polárních oblastech. Je tak zřejmé, že změny povrchu krajiny ve smyslu manipulace s rozsahem a množstvím vegetace, v tuzemském prostředí spojené především s rozsáhlou výstavbou mohou mít významný vliv na energetické toky na povrchu Země, výpar vody transpirací rostlin a evaporací z povrchu a tím i na utváření místního klimatu.

5. Literatura

Allen, R. G. (ed.) (1991): Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements: Proc. Of the international symposium on lysimetry, Honolulu, Hawaii, July 23 – 25, American Society of Civil Engineers.

Arya, S., P. (2001): Introduction to Micrometeorology, 2nd edition, International Geophysics Series, Vol. 79, Academic Press, London.

Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., Holtslag, A. A. M. (1998): A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. Journal of Hydrology, 212-213: 198 - 212.

Bowen, I. S. (1926): The ratio of heat losses by conduction and by this magnitude and the diminution of the aerodynamic evaporation from any water surface. Phys. Rev., 27: 779 - 787.

Brázdil, R., Chmal, H., Kida, J., Klementowski, J., Konečný, M., Pereyma, J., Piasecki, J., Prošek, P., Sobik, M., Szczepankiewicz-Szmyrka (1988): Results of investigation of the geographical research expedition Spitsbergen 1985. Univerzita J. E. Purkyně, Brno.

Brom, J., Nedbal, V., Procházka, J., Pecharová, E. (2012): Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis. Ecological Engineering, 43: 45-52.

Brom, J. (2013): Model pro prostorový výpočet energetické balance a vodního stresu vegetace "SEBCS 0.1". Návod k použití. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice.

Brom, J. et al. (2014): Thermal Data. In: Zemek, F. (ed) et al. (2014): Airborne remote sensing. Theory and practice in assessment of terrestrial ecosystems. Global Change Research Centre AS CR, Brno.

Brutsaert, W. (1982): Evapotranspiration into the atmosphere. Theory, history and applications. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.

Chander, G., Markham, B. (2003): Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41: 2674–2677.

Chander, G., Markham, B. L., Helder, D. L. (2009): Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113: 893 - 903.

Chavez, P. S. (1996): Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 9: 1025 - 1036.

Domec, J. C., King, J.S., Noormets, A., Treasure, E., Gavazzi, M.J., Sun, G., McNulty, S.G. (2010): Hydraulic redistribution of soil water by roots affect whole-stand evapotranspiration and net ecosystem carbon exchange. *New Phytol.*, 187: 171-183.

Eastman, J. R. (2012): IDRISI Selva manual. Clark labs, Clark University, Worcester.

Fitter, A. H., Hay, R. K. M. (2002): *Environmental Physiology of Plants*, 3rd ed. Academic Press, London.

Frouz, J., Keplin, B., Pižl, V., Tajovský, K., Starý, J., Lukešová, A., Nováková, A., Balík, V., Háněl, L., Materna, J., Düker, C., Chalupský, J., Rusek, J., Heinkele, T. (2001): Soil biota and upper soil layers development in two contrasting post-mining chronosequences. *Ecological engineering*, 17: 275 – 284.

Gao, B. (1996): NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58: 257 - 266.

Gates, D. M. (1980): *Biophysical Ecology*. Dover Publications, INC., Dover.

Gieske, A. S. M. (2003): Operational solution of actual evapotranspiration. In: Simmers, I. (ed.): Understanding water in a dry environment: Hydrological processes in arid and semiarid zones. A. A. Balkema Publishers, Lisse, 65 – 114.

Hesslerová, P., Pokorný, J., (2010): Forest clearing, water loss, and land surface heating as development costs. *International Journal of Water*, Volume 5, No. 4: 401-418.

Hesslerová, P., Chmelová, I., Pokorný, J., Šulcová, J., Kröpfelová, L., Pechar, L. (2012): Surface temperature and hydrochemistry as indicators of land cover functions. *Ecological Engineering*, 49: 146-152.

Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J., Rejšková - Procházková, A. (2013): Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: Consequences for the local climate. *Ecological Engineering*, 54: 145-154.

Huryňa, H., Brom, J., Pokorný, J. (2014): The importance of wetlands in the energy balance of an agricultural landscape. *Wetlands Ecological Management*, 22: 363 – 381.

Jin, S., Sader, S. (2005): Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94: 364 - 372.

Jones, H. G. (1992): *Plants and microclimate*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.

Kalma, J. D., McVicar, T. R., McCabe, M. F. (2008): Estimating Land Surface Evaporation: A Review of Methods Using Remotely Sensed Surface Temperature Data. *Surveys in Geophysics*, 29: 421 - 469.

Kirkham, M. B. (2004): *Principles of Soil and Plant Water relations*. Academic Press, Amsterdam.

Kravčík, M., Pokorný, J., Kohuťiar, J., Kováč, M., Tóth, E. (2007): Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm. Municipalia, a.s., Košice.

Kumar, L., Skidmore, A. K., Knowles, E. (1997): Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. *International Journal of Geographical Information Science*, 11: 475 - 497.

Květ, J. (1973): Transpiration of South Moravian *Phragmites communis* littoral of the Nesyt Fishpond. *Studies ČSAV č. 15*, Květ, J. (ed.), Academia, Praha, 143.

Láska, K., Witoszová, D., Prošek, P. (2012): Weather patterns of the coastal zone of Petuniabukta, central Spitsbergen in the period 2008 - 2010. *Polish polar research*, 33 (4): 297-318.

Larcher, W. (2003): *Physiological Plant Ecology*. 4th ed., Springer Verlag, Berlin.

Lee, X., Massmann, W., Law, B. (eds.) (2004): *Handbook of micrometeorology: A guide for surface flux measurement and analysis*. Atmospheric and Oceanographic Library, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Lhomme, J. P., Elguero, E. (1999): Examination of evaporative fraction diurnal behaviour using a soil-vegetation model coupled with a mixed-layer model. *Hydrology and Earth System Science*, 3 (2): 259 - 270.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. (2004): *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley and sons, New York, USA.

Mahfouf, J. F., Richard, E., Mascart, P. (1987): The influence of soil and vegetation on the development of mesoscale circulation. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26: 1483-1495.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2007): Biotic Pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 11, No. 2: 1013 - 1033.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2010): The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. *International Journal of Water*, Volume 5, No. 4: 365-385.

Maltese, A., Minacapilli, M., Cammalleri, C., Ciralo, G., D'Asaro, F. (2010): A thermal inertia model for soil water content retrieval using thermal and multispectral images. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 7824, art. No. 78241G.

McPherson, R. A. (2007): A review of vegetation - atmosphere interactions and their influences on mesoscale phenomena. *Progress in Physical Geography*, 31: 261-285.

Migala, K., Wojtuń, B., Szymański, W., Muskała, P. (2014): Soil moisture and temperature variation under different types of tundra vegetation during the growing season: A case study from the Fuglebekken catchment, SW Spitsbergen. *Catena*, 116: 10-18.

Mikoláš, M., (2009): Geotechnical soil properties of podkrušnohorská overburden dump. *GeoScience Engineering*, LV (2): 43-50.

Minacapilli, M., Cammalleri, C., Ciralo, G., D'Asaro, F., Iovino, M., Maltese, A. (2012): Thermal inertia modeling for surface water content estimation: A laboratory experiment. *Soil Science Society of America Journal*, 76 (1): 92-100.

Monteith, J. L. (ed.) (1975): *Vegetation and the Atmosphere. Volume 1, Principles*. Academic Press Inc. London.

Monteith, J. L., Unsworth, M. (1990): *Principles of Environmental Physics*, 2nd ed. Butterworth-Heinemann, Oxford.

Nadezhdina, N., Steppe, K., De Pauw, D.J., Bequet, R., Čermák, J., Ceulemans, R. (2009): Stem-mediated hydraulic redistribution in large roots on opposing sides of a Douglas-fir tree following localized irrigation. *New Phytol.*, 184: 932-943.

Nobel, P. S. (1999): *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. Academic Press, New York.

Nokes, S. E. (1995): Evapotranspiration. In: Ward, A. D., Elliot, W. J. (eds.): *Environmental hydrology*. CRC Press, Inc., Boca Raton, 91 – 132.

PCI Geomatics (2003): *Geomatica Algorithm Reference*. PCI Geomatics, Ontario, Canada.

Penka, M. (1985): *Transpirace a spotřeba vody rostlinami*. Academia, Praha.

Penman, H. L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society A: Math. Phys.* 193: 120-145.

Peters, R. T., Evett, S. R. (2007): Spatial temporal analysis of crop conditions using multiple canopy temperature maps created with center-pivot-mounted infrared thermometers. *Trans. ASABE*, 50: 919-927.

Pokorný, J. (2001): Dissipation of solar energy in landscape - controlled by management of water and vegetation. *Renewable Energy*, 24: 641–645.

Prach, K. (1987): Succession of vegetation on dumps from strip coal mining. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica*, 4: 339–354.

Prach, K. (2003): Spontaneous succession in Central-European man-made habitats: What information can be used in restoration practice? *Applied Vegetation Science*, 6.

Prach, K., Frouz, J., Karešová, P., Konvalinková, P., Koutecká, V., Mudrák, O., et al. (2009): Ekologie obnovy narušených míst II. Místa narušená těžbou surovin. *Živa*, 68–73.

Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. (1998): *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha.

Prošek, P., Janouch, M., Láska, K. (2000): Components of energy balance of the ground surface and their effect on the termics of substrata of the vegetation oasis at Henryk Arctowski Station, King George Island, South Shetland Islands. *Polar Record*, 36 (196): 3-18.

Přibáň, K., Ondok, J. P. (1985): Heat balance components and evapotranspiration from a sedge-grass marsh. *Folia Geobot. Phytotax.* 20, 41.

Přibáň, K., Ondok, J. P. (1986): Evapotranspiration of a willow car in summer. *Aquat. Bot.* 25, 203.

Ripl, W. (2003): Water: the bloodstream of the biosphere. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 358: 1921 - 1934.

Rothbauer, I. M. (ed.) (2003): Územní prognóza území dotčeného těžbou hnědého uhlí na Sokolovsku. Krajský úřad Karlovy Vary (nepublikováno).

Rychnovská, M., Šmíd, P. (1973): Preliminary evaluation of transpiration in two *Phragmites* stands. In: Hejný, S. (ed.): *Ecosystem Study on Wetland Biome in Czechoslovakia*. Czechoslovak IBP/PT-PP Report No. 3, Třeboň, 111.

ŘSD - Ředitelství silnic a dálnic ČR (2006): *Dálnice D8, Praha - Ústí nad Labem - Německo*. Ředitelství silnic a dálnic ČR, Praha, Česká republika.

Schowengerdt, R. A. (2007): *Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing*. Elsevier, Burlington, USA.

Schwartz, M. D., Karl, T. R. (1990): Spring phenology: nature's experiment to detect the effect of "green-up" on surface maximum temperatures. *Monthly Weather Review*, 118: 883 - 890.

Slavík, B. (ed.) (1965): *Metody studia vodního provozu rostlin*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Paolini, L. (2004): Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90: 434 - 440.

Suleiman, A., Crago, R. (2004): Hourly and Daytime Evapotranspiration from Grassland using Radiometric Surface Temperatures. *Agronomy Journal*, 96: 384 - 390.

Tasumi, M., Allen, R. G., Trezza, R. (2008): At-surface Reflectance and Albedo from Satellite for Operational Calculation of Land Surface Energy Balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13: 51 - 63.

Tolasz, R. (ed.) et al. (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

Tucker, C. J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: 127 - 150.

USGS: United States Geological Survey, www.usgs.gov.

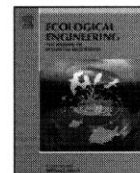
6. Přílohy

- 6.1. *Separát publikace "Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis"***



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecoleng

Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis

Jakub Brom^{a,b,*}, Václav Nedbal^a, Jan Procházka^a, Emilie Pecharová^{c,d}

^a Department of Landscape Management, Faculty of Agriculture, University of South Bohemia, Studentská 13, České Budějovice, CZ 370 05, Czech Republic

^b ENKI o.p.s., Dukelská 145, Třeboň, CZ 379 01, Czech Republic

^c Department of Crop Production and Agroecology, Faculty of Agriculture, University of South Bohemia, Studentská 13, České Budějovice, CZ 370 05, Czech Republic

^d Department of Landscape Ecology, Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 1176, CZ 165 21 Prague 6, Suchbát, Czech Republic

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 February 2011

Received in revised form 10 March 2011

Accepted 15 March 2011

Available online 20 April 2011

Keywords:

Surface temperature

Surface moisture

Vegetation cover

Landsat

Time series analysis

ABSTRACT

This paper presents an evaluation of changes in the performance of the surface of the Velká Podkrušnohorská dump, a brown coal waste dump, over a period of 25 years from 1984 to 2009, on the basis of satellite data collected by the Landsat satellite. The changes in vegetation cover, surface moisture and surface temperature were evaluated on the basis of the NDVI index (Normalized Difference Vegetation Index), the NDMI index (Normalized Difference Moisture Index) and the Landsat satellite thermal band. Due to the intense piling up of extracted material and the removal of vegetation cover, there was a significant increase in surface temperature and a decline in NDVI and NDMI after the study of the dump territory began. The maximum surface temperatures and the minimum values of both indices were established in 2000. The trend of the changes in these values has reversed since 2000, due to intensive reclamation works as well as natural succession. The results indicate a significant role of vegetation cover in the formation of the surface temperature and moisture parameters, and the transformation of solar energy at the surface. We consider that the removal of vegetation cover over vast areas can have an impact on the regional climate and hydrological regime. Moreover, we recommend that emphasis be placed on this effect when planning structures for mining purposes.

© 2011 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Vegetation cover in the landscape plays an important role in the transformation of solar energy at the surface of the Earth into individual energy fluxes, i.e. sensible heat, latent heat of evaporation and heat flux into the ground (Gates, 1980; Hayden, 1998; Monteith and Unsworth, 1990; Pokorný, 2001). The manner of solar energy transformation (dissipation) on the active surface has a significant impact on the formation of the local climate, and thus on the climate as such in a broader sense (see e.g. Hesslerová and Pokorný, 2007; Mahmood et al., 2010; McPherson, 2007; Pielke and Avissar, 1990; Pokorný et al., 2010). Land cover, or more precisely vegetation cover, has an important impact on the circulation of air in the boundary layer of the atmosphere (Mahfouf et al., 1987; McPherson, 2007), on climatic characteristics and also on the hydrological regime of a territory (Avissar et al., 2004; Jackson

et al., 2008; Makarieva et al., 2006; Piao et al., 2007; Scheffer et al., 2005). Thanks to its ability to cool the surface actively during the evapotranspiration process (Fitter and Hay, 2002; Nobel, 1999) and the ability to retain and distribute water in the soil (Domec et al., 2010; Nadezhdina et al., 2009), vegetation can stabilise the temperature and moisture regime of a territory (Brom and Pokorný, 2009; Brom et al., 2010; Schwartz and Karl, 1990). In the course of surface mining, the vegetation cover and the draining regime are disturbed over enormous areas. In Europe alone, hundreds of square kilometers are currently affected by surface mining, with a significant proportion of the area free of vegetation cover, which changes the dissipation ability of the surfaces and also leads to changes in hydrology and climate. At the present time, because of the environmental impacts, attention is being paid to the issue of biodiversity, in particular, and also to the issues of material toxicity, water outflow and quality, and the remediation of areas disturbed by surface mining. The impact of areas disturbed by surface mining on climate parameters, or on ecohydrological characteristics, has received only marginal attention (see He and Yin, 2010; Moreno-de las Heras et al., 2009; Pecharová et al., 2006; Pokorný, 2001; Pokorný and Šíma, 2006; Pokorný et al., 2007; Wechsung, 2000).

* Corresponding author at: Department of Landscape Management, Faculty of Agriculture, University of South Bohemia, Studentská 13, České Budějovice, CZ 370 05, Czech Republic. Tel.: +420 387 772 741.

E-mail address: jbrom@zf.jcu.cz (J. Brom).

The aim of this work is (1) to describe the development of the surface temperature, the amount of vegetation and surface moisture as indicators of the function of the territory in terms of the transformation (dissipation) of solar energy during the previous 25 years (since 1984) and (2) to describe the relationship between the studied characteristics and the surrounding landscape and to evaluate the potential impact of the changes observed in the territory of interest on the surrounding landscape on the basis of the example of the Velká Podkrušnohorská brown coal dump.

2. Materials and methods

2.1. The study site

The study area of the Velká Podkrušnohorská dump (referred to as the VP dump) is situated in the western part of the Czech Republic, near the towns of Karlovy Vary and Sokolov in the Sokolov basin (see Fig. 1). The VP dump is one of the largest dumps in the Czech Republic. The VP dump study covers an area of 21.85 km². The broader study area, including the surface of the dump and its surroundings, covers 700 km² (see Fig. 1 and Table 2).

The first reference to coal mining in the Sokolov basin dates back to 1760. The development of modern industrial coal mining dates back to the era after the railroad construction was completed in 1871. After the Second World War there were 39 underground mines and 15 small mines operating in the Sokolov region. The underground mines were subsequently gradually closed down, and surface mining and large-scale mining started to develop in the region. Mining reached its peak in 1983, when more than 22.6 million tons of brown coal were mined in the region (Rothbauer, 2003). The VP dump had been created approximately 30 years before that by combining several smaller dumps to form the external dump of the Jiří brown coal mine. A total of approximately 886,000,000 m³ of 23 overburden soils (mostly cypris clay, claystone, coal clays, coal remains and other materials) were piled up at the dump (Mikoláš, 2009). Since 2003 the storage activities have gradually been closed down (Rothbauer, 2003). Forestry reclamation combined with agricultural reclamation has been taking place in the VP dump area, accompanied by smaller bodies of water and wetlands, which are usually classified as forestry reclamation, due to their small area. A part of the area has been left to natural succession. The agricultural reclamation has been designated as permanent grasslands; forestry reclamation is planned in most of the area, with the forests covering the dumps classified as protective forests.

2.2. Description of the data

A set of available Landsat satellite scenes (Copyright ESA, distributor Eurimage) was used for assessing the functional characteristics of the VP dump in the period from 1984 to 2009. In order to eliminate the seasonal vegetation effect, only data from the end of June to the end of August were used for the analysed years. The acquisition dates of the data are listed in Table 1.

All of the data were acquired in 9:38 UTC + 1. The data were rectified into the S-JTSK cartography projection (EPSG: 2065) and corrected in atmospheric terms using the ATCOR2 PCI Geomatica modules for the optical bands and ATCOR2.T for the thermal band (Geomatica Algorithm Reference, 2003). Any areas impacted by cloud or by errors were excluded from further analyses. The extent of the areas used in the analyses is shown in Table 2.

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the surface temperature and the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) were used for the time series assessment. NDVI was used as an indicator of the amount of vegetation at the surface, calcu-

Table 1

Overview of acquisition time and satellites that were used.

Date	Satellite/scanner	Spatial resolution
3rd August 1984	Landsat 5/TM	30 m optical bands, 120 m thermal band
14th August 1988	Landsat 5/TM	30 m optical bands, 120 m thermal band
7th August 1991	Landsat 5/TM	30 m optical bands, 120 m thermal band
1st July 1995	Landsat 5/TM	30 m optical bands, 120 m thermal band
20th June 2000	Landsat 7/ETM+	30 m optical bands, 60 m thermal band
28th July 2005	Landsat 5/TM	30 m optical bands, 120 m thermal band
24th August 2009	Landsat 5/TM	30 m optical bands, 120 m thermal band

lated from the red band (band 3) and the near-infrared band (band 4), as follows (Tucker, 1979):

$$NDVI = \frac{\text{band 4} - \text{band 3}}{\text{band 4} + \text{band 3}} \quad (1)$$

NDMI was used as an indicator of the moisture characteristics of the VP dump area. NDMI was calculated on the basis of the Landsat near-infrared band (band 4) and the shortwave infrared band (band 5) (Gao, 1996; Jin and Sader, 2005):

$$NDMI = \frac{\text{band 4} - \text{band 5}}{\text{band 4} + \text{band 5}} \quad (2)$$

The surface temperature was derived from the 6th Landsat band, using the PCI Geomatica 13 ATCOR2.T module (Geomatica Algorithm Reference, 2003). The original data gained from the satellite scenes was statistically analysed and summarised for the area of the VP dump. Due to issues connected with seasonal changes in vegetation cover and weather conditions, the features were standardised for the whole area, including the surroundings of the VP dump (see Fig. 1):

$$A_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (3)$$

where A_i is a standardised value, x_i is an original value, \bar{x} is the mean value of the dataset and s is the standard deviation of the dataset. In this way, we obtained a mean landscape for each of the images, and individual characteristics of the VP dump were assessed consecutively in the context of these values. This means that the VP dump area is a subset of the whole area studied, including the surroundings of the VP dump. This can be expressed mathematically as follows:

$$A = \{A_i \in R\} \quad (4)$$

and

$$B \subseteq A \quad (5)$$

Table 2

Extent of the areas used for the analyses. The whole area, including the surroundings of the Velká Podkrušnohorská dump, is described for the standardised values.

Date	VP dump (number of pixels)	Whole area studied (number of pixels)
3rd August 1984	24,269	738,426
14th August 1988	24,281	778,180
7th August 1991	24,281	778,180
1st July 1995	24,281	777,915
20th June 2000	24,281	762,160
28th July 2005	24,281	778,180
24th August 2009	24,281	778,180

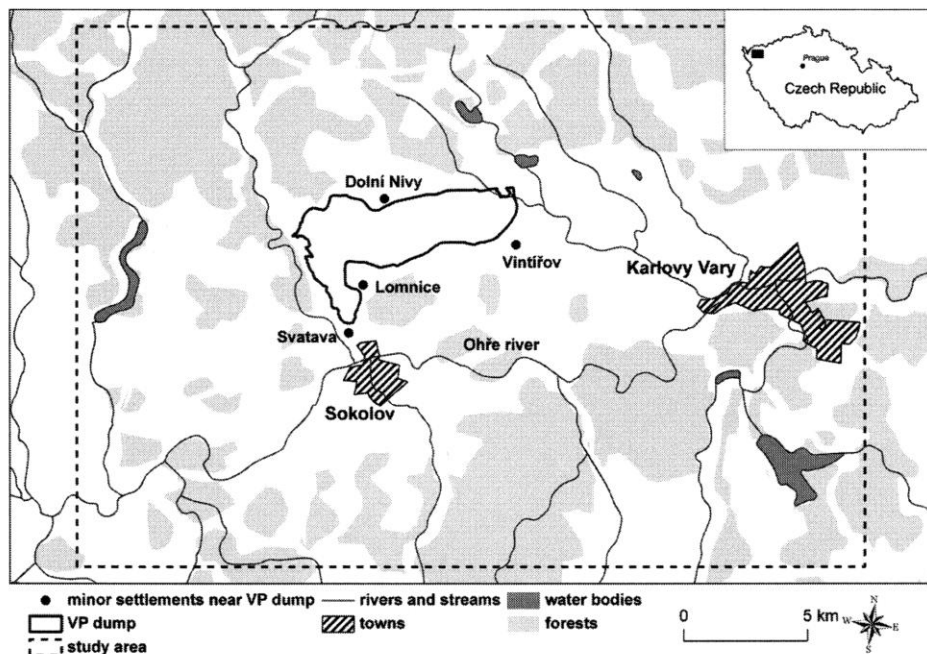


Fig. 1. Map of the territory of interest with the Velká Podkrušnohorská dump area marked by a black solid line. The whole analysed area is marked by a dashed line.

where A is the set of all the values, including the area of the VP dump and its surroundings (Fig. 1) and B is the subset of the values obtained in the VP dump area. The changes in the shape of the data distribution and data frequencies were analysed for the VP dump study area throughout the period of the study. The surface temperature data were scaled to the range from 0 to 1, as the data had different ranges in different years. For scaling the surface temperature we used the following equation:

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

where y_i is the resulting value and x_{\max} and x_{\min} are the maxima and minima of the values in the dataset.

3. Results

Together with the changes in the surface of the dump (piling up of material, reclamation, succession) during the study period, the distribution of the surface temperatures, the distribution and amount of the vegetation cover and surface moisture have also changed. As shown in the overview of basic statistics in Table 3, the highest average surface temperatures were observed in 1995: 35.7 °C, and in 2000, when they reached as high as 41.5 °C, with the

highest temperature maximum of 50 °C. The lowest NDVI vegetation index values (0.203) and NDMI moisture index values (−0.164) were also observed in 2000. An apparent trend can be found in the course of time: the surface temperatures increased from the beginning of the observations until 2000, followed by a gradual decrease in the values.

A similar trend was observed in the case of the surface temperature scalable values of the VP dump. The reverse trend can be observed in the NDVI and NDMI indices: there was a gradual decline in the amount of vegetation and moisture until 2000, followed by a new increase in the area and amount of functional vegetation and an increase in the surface moisture of the dump.

The evaluation of the surface temperature of the VP dump, NDVI and NDMI in the context of the surrounding landscape revealed that all the studied characteristics had in all cases shown worse average values than in the surrounding landscape. In terms of surface temperature, the average values were in all cases higher than the surrounding landscape values, and, conversely, the average NDVI and NDMI index values were in all cases lower than in the surrounding landscape. The time trend of the changes in the relationship of the values of the observed characteristics and the surrounding landscape has a similar character to the trend in the changes in the observed characteristics themselves. Again,

Table 3

Overview of the surface temperature, scaled surface temperature to the range from 0 to 1, NDVI and NDMI basic statistics for the Velká Podkrušnohorská dump in the study years.

Year	Temperature (°C)				Temperature scaled		NDVI		NDMI	
	Mean	Median	Minima	Maxima	Mean	Median	Mean	Median	Mean	Median
1984	26.2	26.0	20.0	34.0	0.444	0.429	0.502	0.593	0.131	0.185
1988	25.4	25.0	20.0	31.0	0.488	0.455	0.418	0.451	0.050	0.052
1991	32.9	34.0	27.0	39.0	0.489	0.583	0.333	0.275	0.020	−0.022
1995	35.7	36.0	26.0	43.0	0.571	0.588	0.380	0.348	0.052	0.017
2000	41.5	43.0	28.0	50.0	0.613	0.682	0.203	0.108	−0.164	−0.221
2005	28.3	28.0	21.0	34.0	0.560	0.539	0.456	0.446	0.079	0.053
2009	28.2	29.0	21.0	35.0	0.515	0.571	0.523	0.529	0.081	0.051

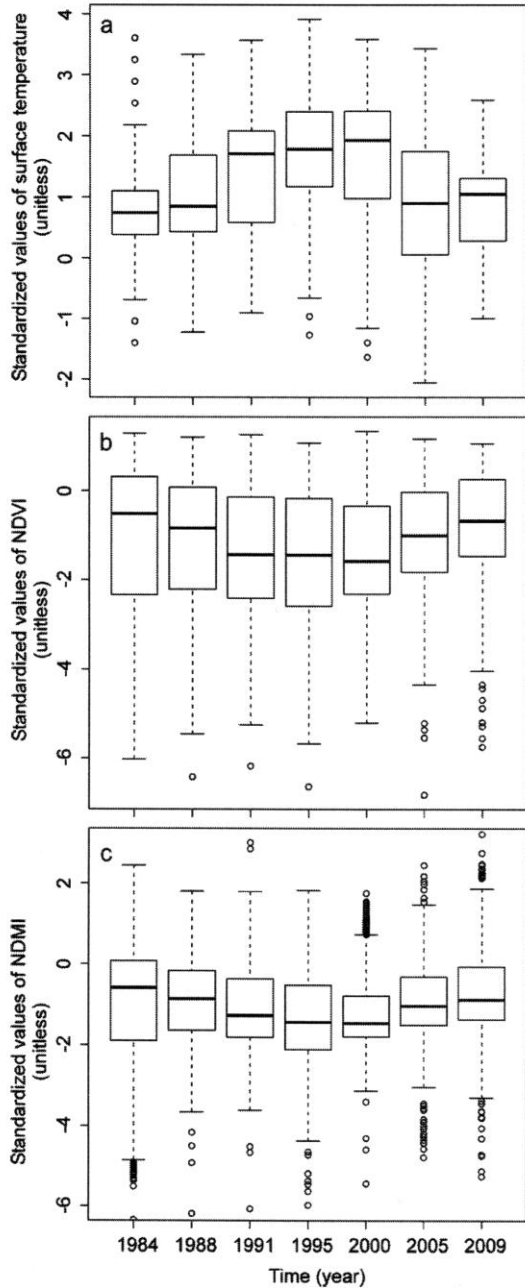


Fig. 2. Overview of the trends of the analysed features of the Velká Podkrušnohorská dump in the context of the surrounding landscape during the study period. (A) Changes in surface temperature, (B) changes in the amount of vegetation cover, using NDVI, and (C) changes in the surface moisture characteristics, described using NDMI.

an increasing trend was observed in the temperature of the surface of the dump (Fig. 2A) until 2000, followed by a gradual decrease from that year and an approximation to average values of the surrounding landscape, i.e. zero. The NDVI (Fig. 2B) and NDMI (Fig. 2C) values showed an opposite trend to the surface temperature values, with the values following a gradually decreasing trend from 1984 to 2000, progressively moving away

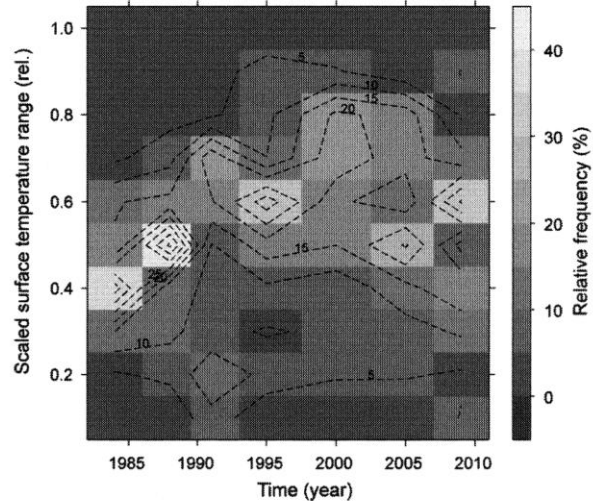


Fig. 3. Changes in the relative distribution (%) of surface temperature data in the Velká Podkrušnohorská dump area during the study period.

from zero. After 2000, the trend changed and the values started to approximate zero, i.e. the average value in the surrounding landscape.

An important characteristic of the studied parameters is the distribution of their values and the changes in this distribution. The distribution changed significantly during the period under study, with an apparent trend: until 2000, the distribution of the surface temperature scaled values in the VP dump territory showed a gradual move in the classes with the largest proportion of data towards higher temperatures, and there was a move back towards lower values after that year (Fig. 3). The changes in the distribution of the surface temperature were apparent both in the skewness of the data and in the modality of the data. In 1991, a bimodal distribution of the data can be observed, partially persisting until 1995. By 2005, most of the values had already moved to the area around 0.5, but a large proportion of the data remained somewhere around 0.8. By 2009, most values were already to be found in the central part of the histogram.

The trend of the distribution of the NDVI index values is not as straightforward as the trend of the surface temperature values (Fig. 4). However, a gradual trend can be observed there, with the distribution of the NDVI values moving from higher values in 1984 towards low values between about 1991 until 2000. From 2000 onwards, the distribution of the values changed again, towards higher NDVI values. The changes in the values and in the NDVI distribution are demonstrated in Fig. 5 for the three observed periods, i.e. 1984 (A), 2000 (B) and 2009 (C). Again, the NDVI values indicate an apparent change in the modality of the data. In 1984 the distribution of the NDVI data had two major peaks, one centred on 0.1 and the other around 0.9. From 1988 to 2000, there was a gradual movement of the highest frequency of the data towards zero NDVI values. From 2005 to 2009, the values moved again in the sphere of higher NDVI values, with two peaks in the histogram, one at around 0.4 in 2005 and at around 0.5 in 2009 and another data frequency peak in the sphere of NDVI values around 0.9.

The trend of the surface moisture of the dump, expressed by the NDMI index, has a similar character to the NDVI trend (Fig. 6). From the 1980s, most of the data had gradually moved towards values below 0.0, and from 2000 the distribution of the values has moved towards higher NDMI values. Changes in the modality of the data were also observed in NDMI, and also in the NDVI index.

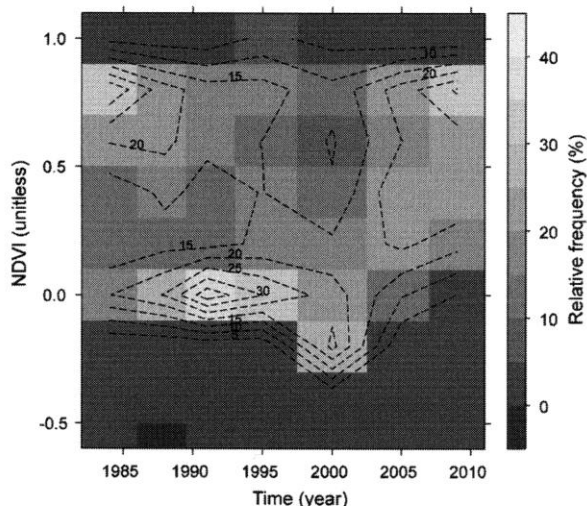


Fig. 4. Changes in the relative distribution (%) of the NDVI data in the Velká Podkrušnohorská dump area during the study period.

In 1984, two major peaks of the NDMI data distribution was observed, one centred on an NDMI value of -0.13 and the other, a more significant peak, at a value of 0.31 . From 1988 to 1995, the maximum NDMI data frequency moved towards values around -1.5 , and in 2000 it reached as far as an NDMI value of -0.31 . From 2005 to 2009, the peak of the NDMI data distribution moved towards 0.0 , with a minor peak occurring at around 0.3 .

4. Discussion

The surface of the Velká Podkrušnohorská dump underwent a number of important changes connected with mining and reclamation activities during the period under study. The surface temperature and moisture parameters of the territory indicate a significant trend of change, in terms of the quantity and the conditions of the vegetation cover. From the beginning of the observations in 1984, we witness an apparent deterioration in the observed parameters, which culminated around 2000. With progressive transformation from mining (piling up of material) to dense forestation of the surface of the dump, either through reclamation or through natural succession (see e.g. Hendrychová, 2008; Hodačová and Prach, 2003; Prach, 2001; Prach and Hobbs, 2008; Sklenička and Lhota, 2002; Sklenička et al., 2004), the values of the observed biophysical properties progressively returned approximately to the initial level from 1984, or began to approach this level (see Table 3). Surface temperature, as a significantly dynamic characteristic, can be considered an integral value indicating the state and function of the surface (Ripl, 2003). In a narrower sense, it is an indicator of surface dissipative properties, i.e. the ability to transform solar energy into individual heat fluxes – into a sensible heat flux, a heat flux into the ground, and into a flux of the latent heat of evaporation (Pokorný, 2001; Pokorný et al., 2010; Ripl, 2003). An evaluation of the absolute surface temperature values of the dump reveals an apparent trend of change in the course of the study period (Table 3). From 1984 to 1988 the observed surface temperatures were around 26°C , on an average, whereas in 1995 they exceeded 35°C , reaching as high as 41.5°C in 2000, with a maximum temperature peak of 50°C . In 2005 and 2009, the average values returned to 28°C . Surface temperature values reaching as high as 50°C may indicate inability of the surface to cool itself actively during the process of evapotranspiration. Although

the evaluation method for the absolute surface temperature values provides some interesting results, it is rather questionable for an evaluation of the changes in time (Peters and Evett, 2007). The formation of the surface temperature is a complicated biophysical process, affected by a number of factors (Gates, 1980), such as current weather conditions, vegetation period, surface moisture and the condition and amount of vegetation. In order to eliminate the impact of current weather conditions and vegetation period, the surface temperature was scaled to a range from 0 to 1 (Eq. (6)), where 0 represents the lowest value and 1 represents the highest value (see e.g. Peters and Evett, 2007). The results of the evaluation of the scaled temperature values showed a similar trend as the temperature changes in absolute values. Surface temperature, scaled on the basis of Eq. (6), can be considered as an analogue of CWSI (the Crop Water Stress Index) (Idso et al., 1977; Jackson et al., 1981; Jones et al., 2002; Möller et al., 2006). Provided that the temperature of the air in the layer above the dump is constant, the minimum temperature corresponds to the temperature of a maximally evaporating surface, and the maximum surface temperature corresponds to the surface temperature without evaporation. CWSI is then an indicator of the surface water status, or more precisely an indicator of the ability of the surface to evaporate water (Jackson et al., 1981), when this ability decreases as the value increases. As summarised in Table 3, median values of the scaled temperature higher than 0.5 were observed every year after 1991. This indicates that most of the incoming solar energy is transformed into sensible heat. As the ability to cool actively by evapotranspiration is disturbed here, the surface of the dump overheats considerably. Surface moisture is another important factor influencing the surface temperature and the energy regime, and closely connected to the amount and conditions of the vegetation. The NDMI values, expressing the surface moisture conditions, demonstrate that the surface of the dump can be considered relatively dry during the study period. While common values for the integrated grass cover and for the forest covers surrounding the dump varied from 0.3 to 0.5 , the average values observed at the dump were usually around zero, or alternatively negative (2000). The NDMI values followed a decreasing trend in the study period, from the beginning of the observation until 2000; during the subsequent years the trend reversed and the NDMI values started to increase gradually. Surface moisture is connected to a high degree with the proportion of precipitations and outflow, the vegetation conditions and the development of the soil environment (Calder, 2003; Holko and Kostka, 2008; Kutílek and Jendele, 2008). These relationships, however, usually change to a large extent in the dump area due to the absence of functional vegetation and a functional soil horizon, as well as technical surface treatment carried out in order to drain the dump quickly (Přikryl et al., 2002). This is probably why the dump surface dried out quickly. An important factor, having an influence on the surface moisture and surface temperature of the dump, is, in our opinion, the amount and the conditions of the vegetation. Large quantities of water can be retained in the vegetation, in plant bodies, and in the soil environment itself (Frouz et al., 2001; Larcher, 2003; Kirkham, 2004). The relationship between vegetation cover and surface moisture is also confirmed by the statistically significant relationship between NDVI and NDMI, in which the correlation coefficient of the dump surface is around 0.9 for all observed periods.

The NDVI values established in the dump area reached very low average values every year. It is apparent that a significant part of the territory is either free of vegetation cover or has very sparse cover. The developments indicate that the vegetation cover has receded since the 1980s, and the lowest NDVI values were observed in 2000. This appears to have been due to massive piling up of material in the dump. Records from 2005 and 2009 indicate increasing NDVI

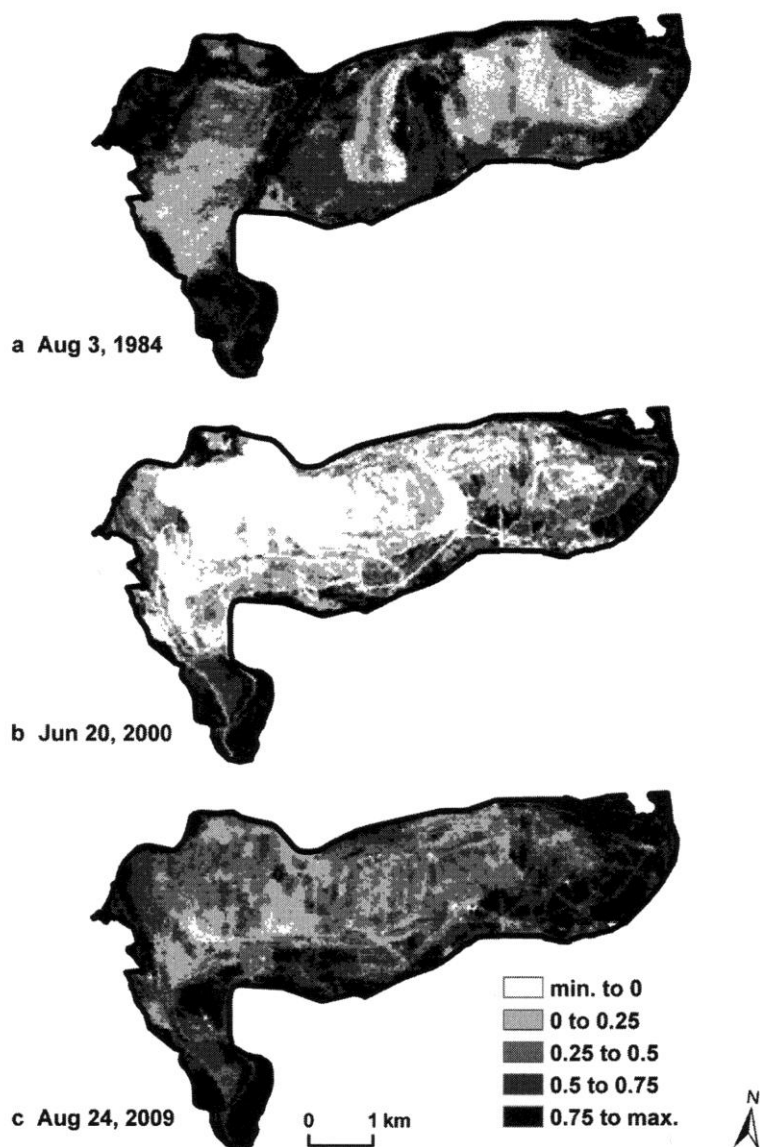


Fig. 5. A demonstration of the change in values and spatial distribution of NDVI on the surface of the Velká Podkrušnohorská dump in 1984 (A), in 2000 (B), and in 2009 (C).

values due to reclamation works and natural succession, in particular. In this case, we consider the amount of functional vegetation to be one of the major factors influencing the formation of the surface temperature. However, the relationship between surface temperature and amount of vegetation is very complicated: vegetation cover can actively control evaporation, and can thus control the surface energy regime and its temperature on the basis of a number of factors, e.g. wind speed, water vapour pressure deficit, intensity of incoming radiation, amount of water in the ground, etc. (Gates, 1980; Monteith and Unsworth, 1990). This means that the relationship between vegetation cover and surface temperature depends on the current physiological conditions, among other factors (Jones, 1992).

When assessing the functional properties of the surface in a given part of the territory, the question arises: what is the relationship between the territory and its surroundings? In this work, we

have applied some simple reasoning: we considered the overall territory (the dump and its surroundings) as a whole, and attributed to it an average value for the observed parameter equal to zero, based on data standardisation. The area of interest (the dump) was then treated as a subset of this territory, and its properties were related to this standard. This enabled us to evaluate the relationship between the observed part of the territory and the whole of the territory, and also to establish some kind of limit or extent to which it differs from the whole of the territory. Assuming that the whole of the defined territory represents an average landscape, we can determine whether the part of the whole that is under observation differs from the average in a positive or negative sense. In the course of time, we assume that the whole observed territory is always an average landscape, which enables us to predict the future developments of a given part of the territory. An important condition for the selected method is that the area of the whole

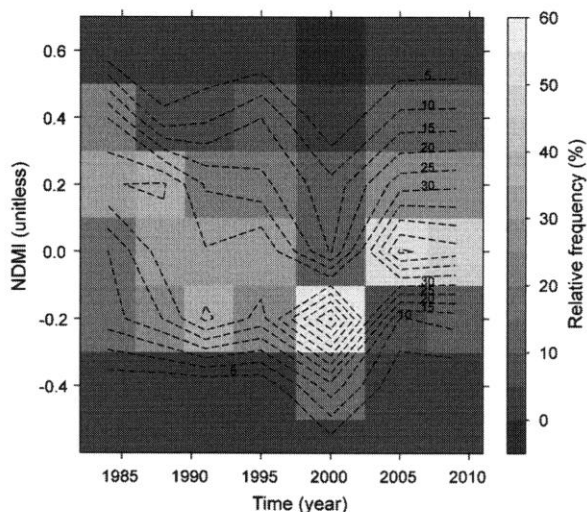


Fig. 6. Changes in the relative distribution (%) of the NDMI data in the Velká Podkrušnohorská dump area during the study period.

assessed territory must be large enough, and the seasonal selection of data must be identical. The advantage of this method is undoubtedly its simplicity. The evaluation of individual terms can be influenced by extreme weather conditions, such as an unusually long drought, or by flooding, when the landscape cover can behave in a non-standard manner. In the terms assessed in this work, we do not anticipate such extreme impacts. The charts representing the development of the observed parameters indicate that the values differ from zero in all cases, and thus from the average value of the whole of the area of interest: the temperature differs in a positive sense, NDMI and NDVI in a negative sense. The time development of the observed parameters followed the same trend as their absolute values. From the beginning of the evaluated time series, the values of the parameters moved progressively from zero. The trend changed in around 2000, when all of the values started to approach zero again. This indicates a gradual return of the disturbed territory to the properties of the territory as a whole. Another important effect in the development of the surface of the dump is the change in the distribution of the values of the parameters. In the case of a functioning landscape with developed vegetation cover, we can anticipate more surface temperature values in lower classes, and thus the distribution of the data is oblique in a positive sense. In case of surface moisture (NDMI) and amount of vegetation (NDVI), the converse is true, and the distribution is oblique in a negative sense. The results show that significant changes occurred in the distribution of the surface temperature values, NDMI values and NDVI values during the study period. In the case of temperature, the values moved progressively to the right, i.e. towards higher values, until 2000, and then the distribution moved to the left again. The NDMI and NDVI values showed an opposite trend. The results of the evaluation therefore illustrate the gradually deteriorating conditions in the study territory and their subsequent improvement. Additionally, the changes in the data modality demonstrate that the changes in the surface of the dump occurred progressively in smaller areas, where smaller parts of the area were piled up in the first phase of the study period, and gradual reclamation started in the second phase of the period, starting from the east and from the edge of the dump. As shown by the example of the VP dump, there were significant changes in the vegetation cover, surface moisture values and temperature values during the development of the dump. As a consequence, significant

changes occurred in the distribution of solar energy: solar energy transforms into sensible heat, in particular, on a dry surface with no vegetation. Because there was a large area with a similar structure (VP dump $\sim 22 \text{ km}^2$), surface overheating can have an impact on the local air circulation and also on the hydrological and climatic regime of the surrounding region (Avisar et al., 2004; Hesslerová and Pokorný, 2007; Pokorný, 2001; Ripl, 1995). For this reason, sufficient emphasis must be placed on the function of the vegetation and on the hydrological and climatic regime of the territory when planning similar structures and reclamation.

5. Conclusion

An evaluation of the surface temperature, the amount of vegetation and the moisture properties of the surface of Velká Podkrušnohorská dump demonstrated a significant trend of change. From the 1980s onwards, the territory was gradually covered with extracted materials. The subsequent removal of the vegetation cover brought about a higher surface temperature and lower surface moisture. This situation culminated in 2000, when the parameters of the study territory reached their furthest point from the properties of the surrounding landscape. After 2000, the observed properties gradually reverted to the values detected at the beginning of the observations, following active recovery of the vegetation thanks to natural succession and reclamation works. We consider that removal of the vegetation cover from immense areas (square kilometers to tens of square kilometers) can destabilise the climatic and hydrological regime in the region. Therefore, we recommend that emphasis be placed on this effect when planning interventions of a similar scale in the landscape and in landscape cover.

Acknowledgements

This work has been supported by grants from the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic nos. 6007665806 and 2B08006, and from National Agency for Agricultural Research of the Czech Republic grant no. QH 82 106. We would like to thank Robin Healey for reading the text and correcting the English.

References

- Avisar, R., Weaver, C.P., Werth, D., Pielke Sr., R.A., Rabin, R., Pitman, A.J., Silva Dias, M.A., 2004. The regional climate. In: Kabat, P., Claussen, M., Dirmeyer, P.A., Gash, J.H.C., de Guenni, L.B., Meybeck, M., Pielke Sr., R.A., Vörösmarty, C.J., Hutjes, R.W.A., Lütkemeyer, S. (Eds.), *Vegetation, Water, Humans and the Climate. A New Perspective on an Interactive System*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 21–32.
- Brom, J., Rejšková, A., Procházka, J., 2010. Comparison of temperature regime of two temperate herbaceous wetlands in the course of growing season. In: Vymazal, J. (Ed.), *Water and Nutrient Management in Natural and Constructed Wetlands*. Springer Science + Business Media B.V., pp. 221–235.
- Brom, J., Pokorný, J., 2009. Temperature and humidity characteristics of two willow stands, a peaty meadow and a drained pasture and their impact on landscape functioning. *Boreal Environ. Res.* 14, 389–403.
- Calder, I.R., 2003. Assessing the water use of short vegetation and forests: development of the Hydrological Land Use Change (HYLUC) model. *Water Resour. Res.* 39, 1318.
- Domec, J.C., King, J.S., Noormets, A., Treasure, E., Gavazzi, M.J., Sun, G., McNulty, S.G., 2010. Hydraulic redistribution of soil water by roots affects whole-stand evapotranspiration and net ecosystem carbon exchange. *New Phytol.* 187, 171–183.
- Fitter, A.H., Hay, R.K.M., 2002. *Environmental Physiology of Plants*, 3rd ed. Academic Press, London.
- Frouz, J., Kepkin, B., Pižl, V., Tajovský, K., Starý, J., Lukešová, A., Nováková, A., Balík, V., Háníč, L., Materna, J., Düker, C., Chalupský, J., Rusek, J., Heinkele, T., 2001. Soil biota and upper soil layers development in two contrasting post-mining chronosequences. *Ecol. Eng.* 17, 275–284.
- Gao, B., 1996. NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* 58, 257–266.
- Gates, D.M., 1980. *Biophysical Ecology*. Dover Publications, INC, Dover.

- Geomatics Algorithm Reference, 2003. PCI Geomatics. 50 West Wilmot Street, Richmond Hill, Ontario, Canada, L4B 1 M5.
- Hayden, B.P., 1998. Ecosystems feedback on climate at the land scale. *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* 353, 5–18.
- He, F., Yin, J., 2010. Environmental effect of land cover change: a case study of coal mining areas in Beijing, China. In: 18th International Conference on Geoinformatics 2010, Beijing, China, pp. 1–5.
- Hendrychová, M., 2008. Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic: a review of pedological and biological studies. *J. Landscape Studies* 1, 63–78.
- Hesslerová, P., Pokorný, J., 2007. The synergy of solar radiation, plant biomass and humidity as an indicator of ecological functions of the landscape: a case study from Central Europe. *Integr. Environ. Assess. Manage.* 6, 249–259.
- Hodačová, D., Prach, K., 2003. Spoil heaps from brown coal mining: technical reclamation versus spontaneous revegetation. *Restor. Ecol.* 11, 385–391.
- Holko, L., Kostka, Z., 2008. Impact of landuse on runoff in mountain catchments of different-scales. *Soil Water Res.* 3, 113–120.
- Idso, S.B., Jackson, R.D., Reginato, R.J., 1977. Remote-sensing of crop yields. *Science* 196, 19–25.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter Jr., P.J., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour. Res.* 17, 1133–1138.
- Jackson, R.B., Randerson, J.T., Canadell, J.G., Anderson, R.G., Avissar, R., Baldocchi, D.D., Bonan, G.B., Caldeira, K., Diffenbaugh, N.S., Field, C.B., Hungate, B.A., Jobbágy, E.G., Kueppers, L.M., Noyes, M.D., Pataki, D.E., 2008. Protecting climate with forests. *Environ. Res. Lett.* 3, 044006.
- Jin, S., Sader, S., 2005. Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sens. Environ.* 94, 364–372.
- Jones, H.G., 1992. *Plants and Microclimate*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jones, H.G., Stoll, M., Santos, T., de Sousa, C., Chaves, M.M., Grant, O.M., 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *J. Exp. Bot.* 53, 2249–2260.
- Kirkham, M.B., 2004. *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Academic Press, Amsterdam.
- Kutílek, M., Jendele, L., 2008. The structural porosity in soil hydraulic functions—a review. *Soil Water Res.* 3 (Special Issue 1), S7–S20.
- Larcher, W., 2003. *Physiological Plant Ecology*, 4th ed. Springer Verlag, Berlin.
- Mahfouf, J.F., Richard, E., Mascart, P., 1987. The influence of soil and vegetation on the development of mesoscale circulation. *J. Climate Appl. Meteor.* 26, 1483–1495.
- Mahmood, R., Pielke, R.A., Hubbard, K.G., Niyogi, D., Bonan, G., Lawrence, P., McNider, R., McAlpine, C., Etter, A., Gameda, S., Qian, B., Carleton, A., Beltran-Przekurat, A., Chase, T., Quintanar, A.L., Adegok, J.O., Vezhapparambu, S., Conner, G., Asefi, S., Sertel, E., Legates, D.R., Wu, Y., Hale, R., Frauenfeld, O.W., Watts, A., Shepherd, M., Mitra, C., Anantharaj, V.G., Fall, S., Lund, R., Treviño, A., Blanken, P., Du, J., Chang, H., Leeper, R., Nair, U.S., Dobler, S., Deo, R., Syktus, J., 2010. Impacts of land use/land cover change on climate and future research priorities. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 91, 37.
- Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G., Li, B., 2006. Conservation of water cycle on land via restoration of natural closed-canopy forests: implications for regional landscape planning. *Ecol. Res.* 21, 897–906.
- McPherson, R.A., 2007. A review of vegetation – atmosphere interactions and their influences on mesoscale phenomena. *Prog. Phys. Geogr.* 31, 261–285.
- Mikoláš, M., 2009. Geotechnical soil properties of podkrušnohorská overburden dump. *GeoSci. Eng. LV* (2), 43–50.
- Möller, M., Alchanatis, V., Cohen, Y., Meron, M., Tsipris, J., Naor, A., Ostrovsky, V., Sprintsin, M., Cohen, S., 2006. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *J. Exp. Bot.* 58, 827–838.
- Monteith, J.L., Unsworth, M., 1990. *Principles of Environmental Physics*, 2nd ed. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Moreno-de las Heras, M., Merino-Martín, L., Nicolau, J., 2009. Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean-Continental climate. *Catena* 77, 39–47.
- Nadezhkina, N., Steppe, K., De Pauw, D.J., Bequet, R., Čermák, J., Ceulemans, R., 2009. Stem-mediated hydraulic redistribution in large roots on opposing sides of a Douglas-fir tree following localized irrigation. *New Phytol.* 184, 932–943.
- Nobel, P.S., 1999. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. Academic Press, New York.
- Pecharová, E., Hais, M., Svoboda, I., 2006. Changes in landscape energy balance as a result of different land use during three time periods. *Ekol. Bratisl.* 25 (Suppl. 3), 205–214.
- Peters, R.T., Evett, S.R., 2007. Spatial and temporal analysis of crop conditions using multiple canopy temperature maps created with center-pivot-mounted infrared thermometers. *Trans. ASABE* 50, 919–927.
- Piao, S., Friedlingstein, P., Ciais, P., de Noblet-Ducoudre, N., Labat, D., Zaehe, S., 2007. Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising CO₂ on global river runoff trends. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 15242–15247.
- Pielke, R.A., Avissar, R., 1990. Influence of landscape structure on local and regional climate. *Landscape Ecol.* 4, 133–155.
- Pokorný, J., 2001. Dissipation of solar energy in landscape—controlled by management of water and vegetation. *Renew. Energy* 24, 641–645.
- Pokorný, J., Květ, J., Rejšková, A., Brom, J., 2010. Wetlands as energy-dissipating systems. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 37, 1299–1305.
- Pokorný, J., Šíma, M., 2006. Význam velkoplošných rekultivací pro ochranu klimatu—koloběh vody, energetická bilance krajiny, využití DPZ (Role of large-scale recultivation in climate mitigation—water cycle, energy budget of landscape, use of RMS). Regional Workshop Reclamation and Socioeconomic Aspects. April 2006, City Most, pp. 38–41.
- Pokorný, J., Šíma, M., Rejšková, A., Brom, J., 2007. The role of vegetation in water cycling and energy dissipation. In: Hazell, P., Norris, D. (Eds.), Proceedings of the 1st Natural Sequence Farming Workshop. 'Natural Sequence Farming: Defining the Science and the Practice'. 31st October and the 1st November, 2006, Bungendore, NSW, Australia.
- Prach, K., Hobbs, R.J., 2008. Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites. *Restor. Ecol.* 16, 363–366.
- Prach, K., 2001. Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats: experience from Central Europe. *Ecol. Eng.* 17, 55–62.
- Přikryl, I., Svoboda, I., Sklenička, P., 2002. Restoration of landscape functions at area devastated by open-cast brown coal mining in the northwest Bohemia. In: Ciccu, R. (Ed.), Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. SWEMP, Cagliari, Italy, pp. 156–160.
- Ripl, W., 1995. Management of water cycle and energy flow for ecosystem control: the energy-transport-reaction (ETR) model. *Ecol. Model.* 78, 61–76.
- Ripl, W., 2003. Water: the bloodstream of the biosphere. *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* 358, 1921–1934.
- Rothbauer, I.M. (Ed.), 2003. Územní prognóza území dotčeného těžbou hnědého uhlí na Sokolovsku (The territorial prognosis of the area impacted by brown coal mining in the Sokolov territory). Krajský úřad Karlovy Vary. Unpublished (In Czech).
- Scheffer, M., Holmgren, M., Brovkin, V., Claussen, M., 2005. Synergy between small- and large-scale feedbacks of vegetation on the water cycle. *Global Change Biol.* 11, 1003–1012.
- Schwartz, M.D., Karl, T.R., 1990. Spring phenology—nature's experiment to detect the effect of green-up on surface maximum temperatures. *Mon. Weather Rev.* 118, 883–890.
- Sklenička, P., Lhota, T., 2002. Landscape heterogeneity—a quantitative criterion for landscape reconstruction. *Landscape Urban Plan.* 58, 147–156.
- Sklenička, P., Přikryl, I., Svoboda, I., Lhota, T., 2004. Non-productive principles of landscape rehabilitation after long-term open-cast mining in Northwest Bohemia. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.* 104, 83–88.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8, 127–150.
- Wechsung, F., 2000. land use change reduce the water deficiency problem caused by reduced brown coal mining in the state of Brandenburg? *Landscape Urban Plan.* May (51), 177–189.

6.2. Seznam všech autorových publikací a přednášek

Publikace s impact faktorem:

Brom J., **Nedbal V.**, Procházka J. a Pecharová E. (2012): Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis. *Ecological engineering* 43, Elsevier, s. 45-52. [IF 2012 = 3,417]

Bodlák L., Křováková K., **Nedbal V.** a Pechar L. (2012): Assessment of landscape functionality changes as one aspect of reclamation quality – the case of Velká podkrušnohorská dump, Czech Republic. *Ecological engineering* 43, Elsevier, s. 19-25. [IF 2012 = 3,417]

Brůna V., Křováková K. a **Nedbal V.** (2010): Historical landscape structure in the spring area of the Blanice river, Southern Bohemia – an example of the importance of old maps. *Acta geodaetica et geophysica Hungarica* 45 (1), Akadémiai Kiadó, Budapest, s. 48-55. [IF 2010 = 0,892]

Recenzované publikace:

Brom, J., Procházka, J., **Nedbal, V.**, Vinciková, H. (2013): Nástroj GIS pro včasné prostorové hodnocení radioaktivní kontaminace zemědělských plodin a půdy. *Bezpečnost jaderné energie* 21 (59), 2013 č. 1/2, s. 48-52.

Nedbal V., Křováková K. a Brůna V. (2008): Historická struktura krajiny a hospodaření v pramenné oblasti Blanice. *Silva Gabreta* 14 (3), Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 199-220. ISSN 1211-7420.

Brůna V., Křováková K. a **Nedbal V.** (2005): Stabilní katastr jako zdroj informací o krajině. *Historická geografie* 33, Historický ústav Praha, s. 397-409. ISSN 0323-0988, ISBN 80-7286-080-1.

Brůna V., Křováková K. a **Nedbal V.** (2004): Analýza krajinných složek na mapách stabilního katastru. In.: Balej M., Jeřábek M. (eds.): Geografický pohled na současné Česko. Acta Universitatis Purkynianae, Studia Geographica VI., Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem, s. 289 - 296. ISBN 80-7044-577-7.

Další publikace a kapitoly v knihách:

Procházka, J., Brom J. **Nedbal V.**, Šťastný J., Novotná K., Pechar L. (2014): Hodnocení funkčních parametrů povrchu krajiny na územích zasažených povrchovou těžbou pomocí metod dálkového průzkumu Země. Zemědělská fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, Lesnická práce, s.r.o. ISBN 978-80-7458-052-9. (Publikace)

Procházka, J., Brom J. **Nedbal V.** (2014): Využití DPZ pro hodnocení funkčních aspektů krajiny (malá povodí v CHKO Šumava). In: Štych P, Kupková L. (eds.) (2014): Dálkový průzkum Země v ochraně přírody. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Nakladatelství P3K, s.r.o. Praha. ISBN 978-80-87343-14-2. (Kapitola v atlasu)

Brom J., Pivovarník M., Hesslerová P., **Nedbal V.**, Jirka V., Vinciková H., Procházka J., Lechner P. (2014): Thermal data. In: Zemek F. et al. (eds.) (2014): Airborne remote sensing. Theory and practice in assessment of terrestrial ecosystems. Global change research centre AS CR, v.v.i. Brno. ISBN 978-80-87902-05-9. (Kapitola v knize)

Přednášky

Přednáška "Aplikace DPZ v hodnocení dlouhodobého vývoje a predikce funkčnosti krajiny" na semináři o využití dálkového průzkumu Země v ochraně přírody a krajiny ve dnech 20. - 21. května 2015 na Univerzitě Mateje Bela v Banské Bystrici.

Přednáška "Evaluation of mining site reclamation development using satellite data" na semináři v rámci stáže na Università degli studi di Palermo ve dnech 25. května - 7. června 2014 v Palermu.

Přednáška "Evaluation of energy balance of landscape surface using satellite data" na semináři projektu HYDAP - The latest remote sensing technologies in the service of research, education and application for regional development ve dnech 3. - 6. září 2013 v Centru globální změny Akademie věd České republiky v Brně.

Přednáška "Hodnocení vybraných funkcí povrchu krajiny prostřednictvím dálkového průzkumu Země" na konferenci "Dálkový průzkum Země v ochraně přírody a krajiny" dne 25. září 2012 na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze.

Přednáška "Dlouhodobý vývoj funkcí potěžební krajiny v satelitních datech" na odborném pracovním semináři „Ekologicko-ekonomická efektivnost obnov poškozené krajiny“ na zasedání Komise pro životní prostředí Akademie věd České republiky dne 22. března 2011 na Akademii věd České republiky v Praze.

Přednáška na téma vývoje funkčních parametrů povrchu krajiny na posttěžebních územích na konferenci "New approaches in land cover/use change research" ve dnech 20. - 21. prosince 2010 na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze.