ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ

VYHODNOCENÍ VĚRNOSTI GIS ANALÝZY VIDITELNOSTI VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN KLÍNY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Petra Šímová, PhD.

Bakalant: Ondřej Kurka

2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Petry Šímové, PhD. Další informace mi poskytli RNDr. Vladimír Puš, CSc. a Ing. Vojtěch Barták. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Současně dávám svolení k uveřejnění této bakalářské práce na webových stránkách FŽP.

V Praze dne 30. 4. 2012 .....

Poděkování

Na prvním místě bych chtěl poděkovat vedoucí mé práce Ing. Petře Šímové za její odborné vedení mé práce, cenné rady a upřímnou trpělivost.

Dále bych chtěl poděkovat všem doktorantům v roce 2012 z KAGÚP za jejich čas a cenné rady.

V Praze dne 30. 4. 2012 .....

Abstrakt

Hlavním cílem této práce bylo zjištění věrohodnosti analýzy viditelnosti větrných elektráren (VTE) v geograficko-informačním systému (GIS). Jako konkrétní program pro tvorbu analýzy byl zvolen ArcMap od společnosti ESRI. Analýza viditelnosti byla prováděna na dvou VTE u obce Klíny v Krušných horách. V ArcMap byla nejprve vytvořena vrstva viditelnosti a vrstva pozorovacích bodů. Pozorovací body byly poté všechny zkontrolovány v terénu a zjištěna jejich korektnost s analýzou v softwaru. Celá studie byla na závěr statisticky vyhodnocena. V rešeršní části je zpracována studie o VTE a DTM.

Přínos práce je v zjištění pravdivosti analýzy viditelnosti v GIS. Toto zjištění se ještě nedá aplikovat plošně na veškeré analýzy, ale je jakýmsi prvním krokem. Další přínos je prohloubení znalostí v problematice výstavby VTE.

Klíčová slova: VTE, krajinný ráz, digitální model terénu, DTM

Abstract

The main objective of this study was to determine the probability analysis of wind turbine visibility in geo-information systems (GIS). As a concrete program for the creation of analysis was selected ArcMap from the company ESRI. Visibility analysis was conducted on two VTE in the village Klíny in the Ore Mountains. In ArcMap was first formed layer visibility and observation points. Observation points were checked in terrain and their correctness was compared with analysis of software. The study conclusion was statistically evaluated. Infomation about VTE and DTM is in the search part of the work.

The contribution of this work is to determine the credibility of visual analysis in GIS. This finding is still not apply generally for all the analysis but it is a kind of first step. Another benefit is the enhancement of knowledge in the issue of construction of VTE.

Key words: wind turbine, landscape, digital terrain model, DTM

OBSAH

ÚVOD **9**

CÍLE PRÁCE **9**

LITERÁRNÍ REŠERŠE **10**

1. Větrné elektrárny (VTE) 10

1.1 Jak pracuje větrná elektrárna? 10

1.2 Kam putuje vyrobená elektrická energie? 14

1.3 Vývoj velikosti VTE 14

1.4 Větrné podmínky v České republice 15

1.5 Větrné elektrárny v Evropě 16

1.6 Efektivita VTE 16

1.7 Kladné stránky VTE 17

2. Negativní vliv VTE na životní prostředí 19

2.1 Hluk 19

2.2 Vliv na krajinný ráz 20

2.3 Ohrožení fauny, zejména ptáků a netopýrů 22

2.4 Stroboskopický efekt 24

2.5 Vliv na půdu, povrchové a podzemní vody 25

2.6 Další vlivy 25

3. Hodnocení vizuálního vlivu VTE 26

3.1 Hodnocení VTE v případě záměru výstavby 25

3.1.2 Možnosti analýzy viditelnosti v GIS 28

4. Digitální model terénu (DTM) 29

4.1 Základní typy DTM 29

4.2 Tvorba DTM 32

4.2.1 Sběr dat 32

4.2.2 Konstrukce trojúhelníkové sítě 33

4.2.3 Tvorba plátového modelu 34
4.2.4 Tvorba rastrového modelu 35
4.4 Vizualizace 35
METODIKA 37
4. Digitální analýza viditelnosti VTE 37
4.1 Použitá data a software 37
4.2 Základní nastavení 38
4.3 Tvorba DTM modelu 38
4.4 Vrstva větrných elektráren (VTE) 39
4.5 Viditelnost rotoru VTE 39
4.6 Viditelnosti paty VTE 40
4.7 Okruhy viditelnosti 40
5. Příprava terénu 40
5.1 Rozmístění náhodných bodů 40
5.2 Změna souřadnicového systému, formát GPX 42
6. Terénní průzkum 43
6.1 Sběr dat 43
7. Statistické vyhodnocení výsledků 43
CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ 44
8. Krušné hory 44
8.1 Geologie 44
8.2 Pedologie 45
8.3 Podnebí 45
8.4 Flóra 45
8.4.1 Stromy 45
8.4.2 Vegetace v podrostu 46
8.5 Fauna 46

8.6 Ochrana přírody 47

VÝSLEDKY 48

DISKUZE 54

ZÁVĚR 56

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY 57

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ, FOTOGRAFIÍ 61

SEZNAM PŘÍLOH 62

PŘÍLOHY 63

ÚVOD

Větrnou energii lidé užívají již tisíce let. Vše začalo lodními plachtami na malých člunech. Nákresy takového výjevu se našly již před 5000 lety. První větrné mlýny byly vystavěny v Persii. Záznamy o jejich stavbě jsou staré asi 2 200 let. V 11. stol. se větrné mlýny objevily na Středním východě. V 17. stol. byl již vysušen pomocí větru první polder. K mohutnému využití větrných motorů došlo při osidlování USA. Zde v 19. stol. bylo vystavěno více než 6 miliónů malých mnoholopatkových větrných motorů k čerpání vody nebo výrobě elektřiny (RYCHETNÍK 1997). Zatímco v 70. letech 20. stol se stavěly větrné elektrárny o výkonu 100 kW, dnes jsou stavěny velké větrné parky na moři (off-share) i na souši (on-share) o výkonech 2 až 6 MW (AL-SHEMMERI 2010).

Česká republika nemá příliš velký potenciál pro hromadnou stavbu VTE (CULEK 2007). Ale momentálně se tu stále nachází mnoho míst, kde VTE mohou být efektivně umístěny (HANSLIAN 2007). Výstavba VTE však není jednoduchá (ČSVE 2011). Jedním z mnohých problémů výstavby VTE je možný negativní vliv na krajinný ráz. To znamená skutečnost, že by VTE narušovala přírodní a kulturně-historický charakter krajiny (SKLENIČKA 2007). Tento fakt je předmětem mnoha diskuzí mezi zúčastněnými subjekty.

Možným předejitím těchto problémů je umělá simulace VTE v krajině a analýza viditelnosti pomocí geografických informačních softwarů (GIS). Analýza viditelnost v GIS je závislá na vstupních geodatech. Geodata nejsou tvořena jen prostým údajem o nadmořské výšce, ale nutností pro správnou analýzu viditelnosti jsou i data popisující les, zástavbu – zkrátka jakékoliv výškové pokryvy země. Tato data většinou nejsou zcela vypovídající. Chybí údaje o jejich aktuálnosti a jejich výškový popis je často nepřesný. Pořídit zcela přesná a aktuální data je finančně náročné a analýzu viditelnosti nelze nahradit běžnou terénní obchůzkou, když VTE ještě není postavena.

Je tedy věrohodnost analýz viditelnosti pomocí běžně dostupných geodat dostatečná? Jsou digitální modely terénu dostatečně reálné? Doposud se mi nepodařilo dohledat ucelenou studii o věrnosti a pravdivosti analýzy viditelnosti v GIS. Možná jsou metody v GIS natolik nepřesné, že nemohou být prováděny pro hodnocení viditelnosti daného objektu (př. VTE). Je důležité zajistit ucelenou studii, která by pojednávala, s jakou pravděpodobností jsou jednoduché digitální analýzy viditelnosti reálné (popř. na kolik procent).

CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce bylo vyhodnocení věrnosti analýzy viditelnosti dvou VTE Klíny (příloha č. 4) na základě běžně dostupných vrstev výškopisu a krajinného

pokryvu. Výsledky práce potvrdí, nebo vyvrátí vhodnost rychlé digitální analýzy viditelnosti pomocí běžně dostupných geodat před časově náročným zjišťováním viditelnosti terénním průzkumem.

Dílčí cíle byly stanoveny následovně:

- vypracování rešerše zahrnující problematiku výstavby VTE
- tvorba analýzy viditelnosti v ArcMap
- zjištění viditelnosti VTE terénní obchůzkou
- srovnání výsledků z ArcMap s výsledky terénního šetření a následné statistické vyhodnocení

LITERÁRNÍ REŠERŠE

1. Větrné elektrárny (VTE)

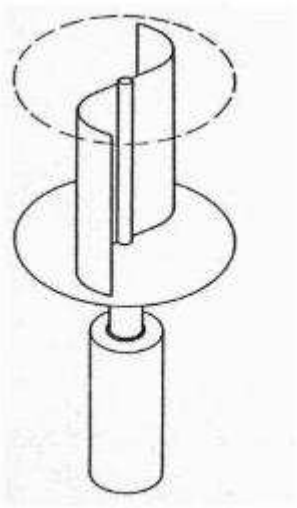
Větrné elektrárny jsou v poslední době velkým tématem. VTE je obnovitelný zdroj energie, který neprodukuje oxid uhličitý, a tak se jeví jako vhodná alternativa fosilních paliv (AL-SHEMMERI 2010).

1.1 Jak pracuje větrná elektrárna?

Základní myšlenkou je přeměnit větrnou energii na elektrickou energii. K tomu slouží rotor a generátor. Jak uvádí RYCHETNÍK (1997), můžeme rozdělit VTE na dva základní typy:

VTE pracující na odporovém principu. Tento druh VTE patří mezi nejstarší. Jejich osa otáčení může být vodorovná i svislá. Princip spočívá v předávání větrné energie do rotačního pohybu. Plocha nastavená proti větru klade aerodynamický odpor, vítr se zpomaluje a síla je mechanicky přeměňována na rotační pohyby (FRÝZA 2010). Na odporovém principu pracuje například klasický miskový anemometr. Kulovitá miska, která je orientovaná proti větru svou prohlubní, působí zhruba 3,5x větším odporem než miska s vypouklou částí. Zvlášť účinný je válcový rotor typu „Savonius“ (obr. č. 1), kde namísto miskových ploch jsou použity válcové plochy (RYCHETNÍK 1997).

obr. č. 1 - Rotor typu Savonius



Zdroj: http://www.reuk.co.uk/

VTE pracující na vztlakovém principu (příloha č. 3). Vítr fouká a obtéká listy, které mají aerodynamický tvar. Vzniká vztlak, který tlačí na listy a roztáčí tak celý rotor (FRÝZA 2010). Princip je podobný jako u letadlového křídla. Mezi VTE s horizontální osou otáčení patří standardní velké větrné elektrárny se třemi listy, historické větrné mlýny nebo tzv. americké větrné motory s větším počtem lopatek apod. Většina strojů s horizontální osou otáčení musí být dovybavena zařízením, které jim umožní být vždy natočené proti směru větru. Tento problém odpadá u větrných motorů s vertikální osou (RYCHETNÍK 1997).

Vrtule, která je součástí velkých větrných elektráren, obsahuje tři velké listy. Listy mají navíc možnost rotace a natáčení (obr. č. 3). Natáčí se kolem své osy v závislosti na sílu větru. Síla větru tak bude vždy co nejefektivněji využita k výrobě elektrické energie. Celý rotor se otáčí tak, aby byl vždy kolmo na směr větru (FRÝZA 2010).

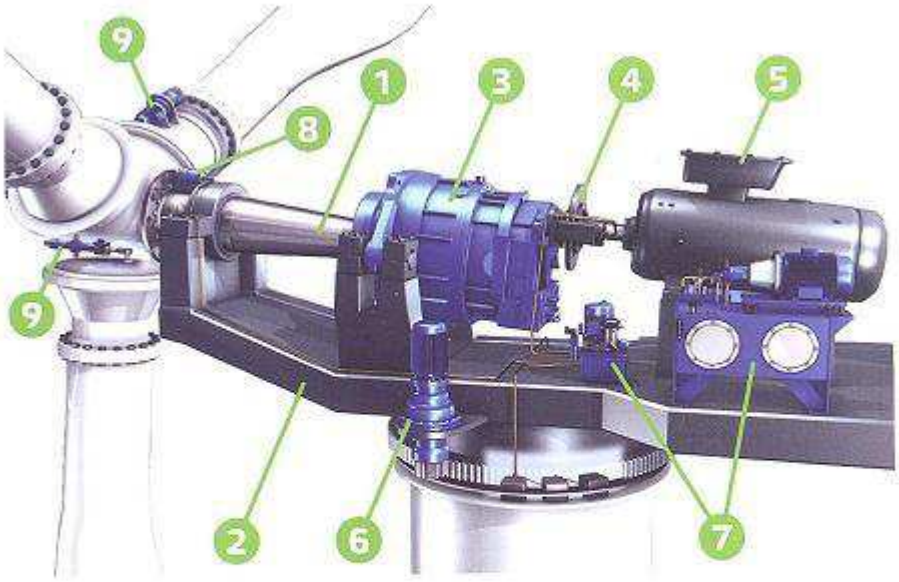
Mezi rotorem a generátorem je umístěna několikastupňová převodovka. Pokud má rotor průměr 90 m, točí se rychlostí zhruba 15 ot/min. Převodovka zvyšuje otáčky z rotoru na 1000 až 3000 ot/min. Tato frekvence je potřebná pro většinu generátorů pro výrobu elektrické energie (ČSVE 2011). Existují i specifické mnohapólové spínané generátory, které žádnou převodovku nepotřebují. Tyto generátory využívá například německá firma Enercon (foto. č. 1) (ENERCON 2012).

Převodovka a generátor jsou umístěny v gondole (obr. č. 2), která je připevněna ke stožáru. Výška stožáru se pohybuje mezi 80 – 125 m. Hmotnost bývá až 225 tun. Stožár je upevněn v betonovém základu, který obsahuje až 500 m^3 o hmotnosti 1200 tun. Celý betonový základ je navíc vyztužen ocelovými pruty (ČSVE 2011).

foto. č. 1 - VTE od firmy ENERCON. Vztlakový princip VTE

Zdroj: http://ekolist.cz

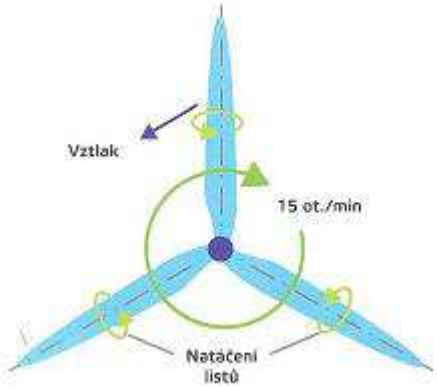
obr. č. 2 – Gondola jako součást VTE



1. hlavní hřídel
2. nosný ocelový rám
3. převodovka
4. kotoučová třecí brzda
5. generátor
6. elektropohon natáčení strojovny do azimutu větru
7. hydraulický pohon (čerpadlo, řídicí jednotka) pro brzdu, natáčení listů či parkovací brzdu
8. parkovací brzda rotoru v době údržby
9. systém natáčení listů (pomocí elektromotoru či hydraulického válce)

Zdroj: ČSVE 2011

obr. č. 3 – Princip otáčení listů u VTE



Zdroj: ČSVE 2011

1.2 Kam putuje vyrobená elektrická energie?

Pokud budeme počítat s VTE o výkonu 2 MW (což je u dnešních VTE asi průměrná hodnota), pak z generátoru vystupuje elektrický proud 3000 A a napětí 690 V. V patě stožáru či v gondole VTE se proud transformuje na optimální napětí okolní sítě, které obvykle bývá 22 kV či 35 kV. Proud poté putuje do vnější rozvodny, kde jsou umístěny ochranné a řídící prvky sítě a probíhá zde obchodní měření. Odtud je elektrický proud distribuován podzemním kabelem do rozvodné sítě (ČSVE 2011).

1.3 Vývoj velikosti VTE

Před dvaceti lety se stavěly VTE s těmito parametry: výkon 50 kW, výška stožáru 30 - 40m, rotor o průměru 20 - 30m. Dnes se standardně budují VTE s parametry: výkon 2 MW, rotor o průměru 90 - 100m, výška stožáru 80 - 125m. Obecně je tedy snaha o větší průměr rotoru a vyšší stožár. Tím se celý rotor dostává do větších výšek, kde vítr fouká s větší rychlostí a bez turbulencí. VTE tak mohou využít mnohem větší potenciál větru. Problém nastává v logistice. Není snadné dopravit tak rozměrné součástky na požadovaná místa. Momentálně se testují prototypy VTE o výkonu okolo 7 MW. Na rýsovacích prknech již existují ale i VTE s 20 MW výkonem (ČSVE 2011). Paradoxně se začíná opět věnovat zvýšená pozornost vývoji malých VTE, které by byly schopné efektivně vyrábět elektrickou energii bez velkých nároků na větrné podmínky a přitom by nerušily krajinný ráz svou velikostí (RODMAN & MEENTEMEYER 2006).

Nová myšlenka ve výstavbě VTE je nestavit velké stožáry, ale umístit rotor do velkých výšek pomocí horkovzdušných balónů ve tvaru turbíny (foto č. 2). Ve velkých výškách fouká vítr mnohonásobně rychleji a účinnost VTE stoupá s druhou mocninou. Další výhoda tohoto typu VTE je snadnější zprovoznění bez časově náročné dopravy a složitých montáží. První úspěšný test této VTE proběhl začátkem dubna 2012 ve státě Massacusetts (EKONOM 2012).

foto č. 2 – VTE s horkovzdušným balónem

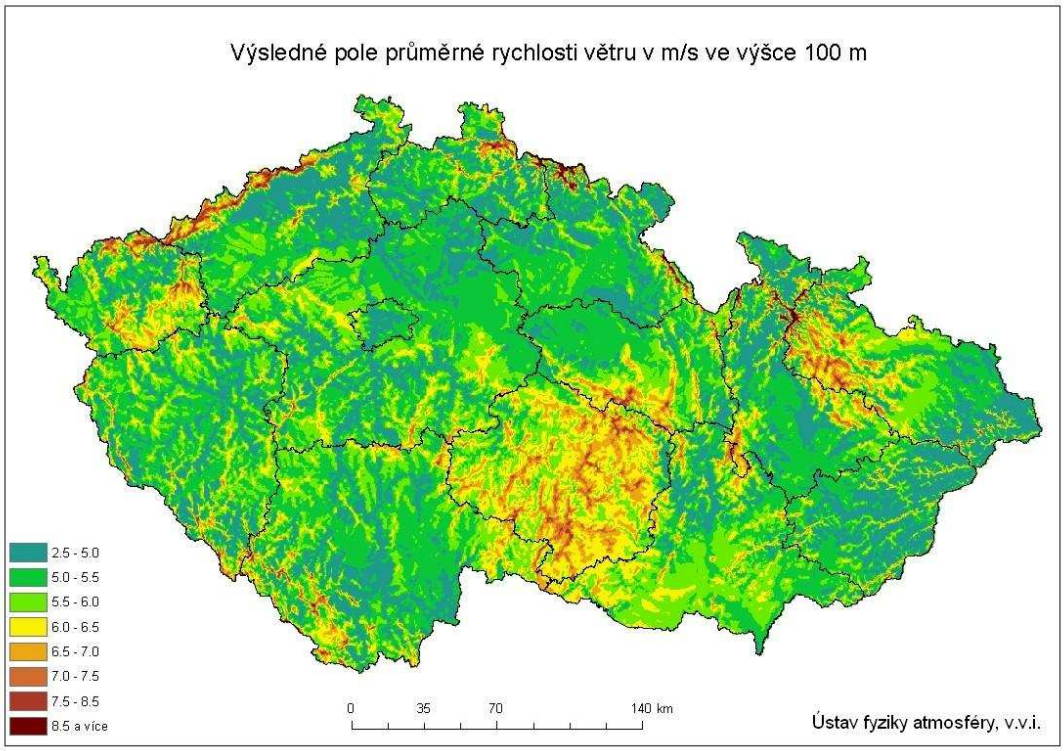
Zdroj: www.ekobydleni.cz

1.4 Větrné podmínky v České republice (obr. č. 7)

V ČR nejsou povětrnostní podmínky zcela ideální jako u přímořských států. Avšak díky stále se zlepšující technologii je dnes možné stavět VTE na místech i s nižší rychlostí větru. Hranice rentabilní rychlosti větru je 6 m/s ve výšce 100 m nad zemí. Výška VTE je důležitá pro efektivní využití větru. Moderní VTE s výkonem 2 MW, výškou stožáru 100m a průměrem rotoru 90m vyrobí ročně okolo 4500 MWh.
K výrobě této energie stačí roční průměrná rychlost větru právě 6 m/s. Podle obrázku č. 7 je vidět, že vhodných míst pro výstavbu VTE není málo (a to i přes vyřazení lokalit, které nepřipadají v úvahu – např. z důvodu ochrany přírody) (ČSVE 2011). NONDEK (2007) uvádí, že možnost výstavby VTE v Krušných horách je až 1000 MW instalovaného výkonu. Tento výkon dosahuje cca 650 VTE. Další vhodné lokality pro stavbu VTE se nachází v Krušných horách, v Nízkém Jeseníku a na Českomoravské vrchovině. Vhodná je též pahorkatina jižní Moravy. Tyto lokality jsou často postiženy nedostatkem rozptýlené vegetace, což je pro větrné podmínky ideální (HANSLIAN 2007).

V České republice je možné postavit až 1200 VTE o celkovém výkonu okolo 2500 MW. Počítá se zde s omezením - výstavba v přílišné blízkosti budov a výstavba v chráněném území (ČSVE 2011). HANSLIAN (2007) se dokonce domnívá, že za současných legislativních podmínek je možné postavit VTE o výkonu 5 – 10 GW. Oba odhady větrného potenciálu však nejsou zcela reálné. Důvodem jsou složité procesy pro povolení výstavby VTE. Dalším důvodem můžou být informace o VTE uváděné v médiích, které ČSVE (2011) považuje za pochybné.

obr. č. 7 – Mapa větrných podmínek v ČR



Zdroj: http://www.ufa.cas.cz/

1.5 Větrné elektrárny v Evropě

(viz příloha č. 1)

1.6 Efektivita VTE

Avšak některé studie informují o neefektivnosti VTE. Náklady na systémové údržby (tj. držení výkonných rezerv a čerpání regulační energie) a náklady na rozšíření energetické soustavy dosahují okolo 2 mld. Kč ročně. Životnost energetických sítí je omezená na cca 30 let, což způsobuje roční navýšení o cca 230 milionů Kč na rekonstrukci a výstavbu nových energetických sítí (RYVOLOVÁ &

ZEMPLINEROVÁ 2010). Naproti tomu ČSVE (2011) tvrdí opačné názory. Pokud by se vybudoval národní plán 750 MW ve VTE, neohrožovaly by VTE zásadně ani stabilitu sítě ani náročnost záložních zdrojů. Kolísající výrobu elektrické energie lze v případě potřeby vyřešit vypnutím VTE či dočasným omezením jejich provozu.

Plánovaná výstavba VTE v ČR je počítána ve více než 100 kusech. Jako OZE by VTE měly nahradit uhelné doly či jaderné reaktory a šetřit tak životní prostředí. Avšak pří plánované výstavbě VTE v ČR se zároveň plánuje otevření nových uhelných dolů (např. v místě Horního Jiřetína) nebo rozšíření jaderné elektrárny Temelín o další reaktory. ČR má dostatek elektrické energie, které vyváží za dumpingové ceny, a přitom uvažuje o výstavbě VTE i uhelných dolů apod. (SKLENIČKA 2006a).

Nasvědčující fakta o efektivnosti budování velkého množství VTE v Německu, Španělsku, Francii, Holandsku, ale i v Číně. Čína v roce 2010 dosáhla výkonu u VTE přes 42 GW (ČSVE 2011).

Existují i možnosti, jak energii VTE nahradit. Pokud by úvaha opětovného zpracování jaderného odpadu byla reálná, stačilo by přistavět další blok u jaderné elektrárny Temelín. Zamezilo by se velkému narušení krajiny (SKLENIČKA 2007).

1.4 Kladné stránky VTE

Jedná se o obnovitelný zdroj energie s nulovou produkcí CO_2. Neprodukuje žádné exhaláty či jakýkoliv jiný odpad. V roce 2010 bylo vyrobeno díky VTE v České republice 335 000 MWh elektrické energie. Toto množství pokryje roční spotřebu zhruba 96 000 domácností (tj. 240 000 osob). Pokud by se stejné množství elektrické energie mělo vyrobit spalováním uhlí, bylo by zapotřebí 335 000 tun uhlí a do vzduchu by se uvolnilo 336 000 tun CO_2 (ČSVE 2011). RYCHETNÍK (1997) podrobněji uvádí, že každá kWh vyrobená větrným motorem ušetří: až 1 250 g CO_2, 6 g NO_x, až 70 g prachu obsahující těžký kov, SO_2 v závislosti na množství síry v uhlí. Na rozdíl od fosilních paliv, která budou relativně brzy vyčerpána, budou VTE využívány neustále (respektive po dobu životnosti Slunce).

Je také důležité si uvědomit, že jakékoliv obnovitelné zdroje energie (OZE) výrazně podporují energetickou soběstačnost státu. V minulosti jsme již několikrát mohli být svědky skutečnosti, jaké důsledky může mít zastavení dodávek ropy či zemního plynu. V souvislosti s dovozem energetických zdrojů se finančně upevňuje pozice dodavatele na úkor odběratele, což může vést i k politickým zásahům (Rusko, oblast Perského zálivu) (ČSVE 2011).

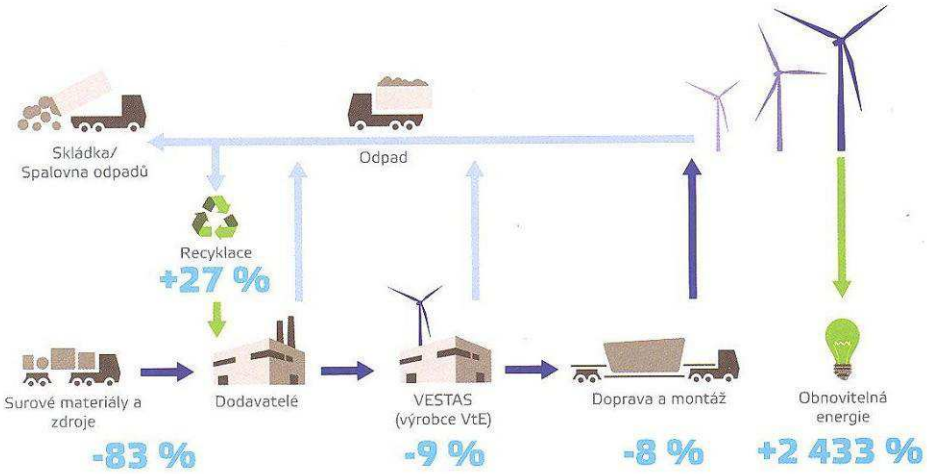
CULEK (2007) uvádí, jak spotřeba elektrické energie urychleně roste. V České republice množství elektrické energie vzrostlo od r. 1993 do roku 2005 ze 47,8 TWh

na 57,7 TWh. V procentuálních hodnotách to je průměrný nárůst o 1,75 % za rok. Přičemž v letech 1999 – 2005 už byl průměrný nárůst 2 % za rok. Nárůst spotřeby pokračuje i přes tendenci šetřit elektřinou mezi občany a firmami. Další markantní nárůst se očekává mezi lety 2016 – 2030, kdy by měl přijít tzv. ropný zlom. Tedy převýšení poptávky po ropě nad nabídkou. Cena ropy a i zemního plynu půjde prudce nahoru. V nejbližší době se tedy očekává postupný přechod ze spotřeby ropy na spotřebu elektrické energie (tam, kde je to možné). S tím je spojená podpora železniční dopravy, elektromobilů apod. Výstavba VTE je jedním z důležitých článků stálého zdroje elektrické energie.

Elektrická energie, potřebná při výrobě a instalaci VTE, se navrací během 3-6 měsíců provozu VTE (AL-SHEMMERI 2010).

VTE má životnost až 20 let. Po skončení životnosti se celý objekt demontuje a recykluje (obr. č. 4). Náklady na demontáž jsou nižší, než zisk získaný z recyklace. Po odstranění VTE se celá lokalita uvede do původního stavu (ČSVE 2011).

obr. č. 4 – Finanční rozdělení VTE na jednotlivé části procesu výroby a recyklace



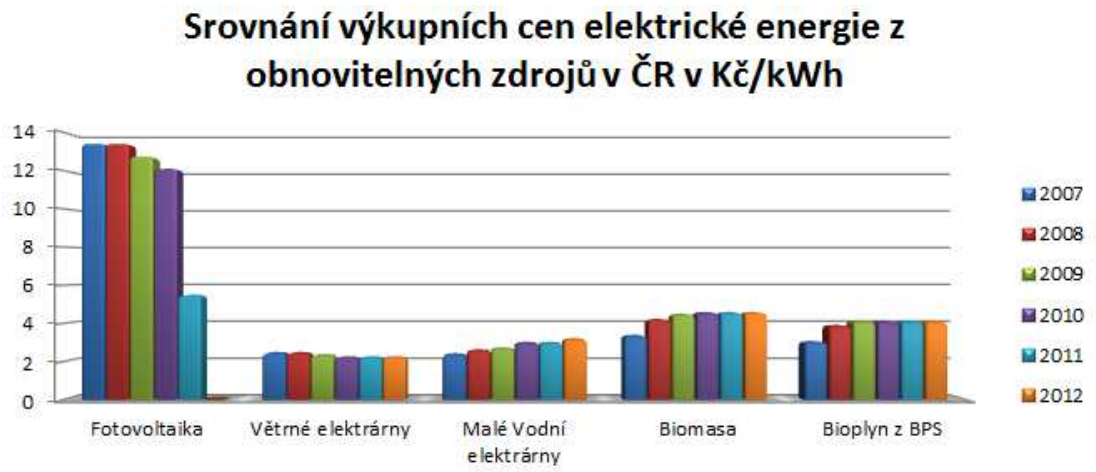
Zdroj: ČSVE 2011

Zábor zemědělské půdy pro potřebu výstavby VTE je zcela minimální v poměru množství vyrobené elektrické energie. Moderní VTE splňují kompletně hygienické limity (FOJTÍKOVÁ 2008).

Česká republika zvolila pro VTE nejnižší výkupní ceny z OZE (obr. č. 5). S výkupní cenou 2,23 Kč/kWh pro rok 2011 se nejvíce blíží k ceně elektřiny silové. Stává se, že cena elektřiny silové na burze v některých momentech překračuje výkupní cenu z VTE. Veškeré výkupní ceny u OZE jsou dotovány. Např. výkupní cena u solární energie byla v letech 2007 – 2010 více než 12 Kč/kWh. Existují tři základní druhy dotací pro OZE. Daňové zvýhodnění nebo osvobození od daně, pevné výkupní ceny

a povinnost distributorů nebo obchodníků s elektrickou energií mít v nabízeném portfoliu určitý podíl OZE, který musí být koupen na trhu (ČSVE 2011).

obr. č. 5 – Srovnání výkupních cen elektrické energie z OZE



Zdroj: http://csve.cz

Avšak i klasické zdroje energie jsou dotovány. Jejich dotace jsou nepřímé, skryté. Nikdo nezapočítává, v jakých částkách se pohybují zdravotní a ekologické následky uhelné těžby. Také nikdo nezapočítává, jaké náklady jsou potřeba pro dlouhodobé uložení jaderného odpadu. Takzvané „externality“ (vliv na zdraví obyvatel, ekologická zátěž apod.) nejsou zahrnuty v cenách za elektřinu u klasických zdrojů energie (ČSVE 2011).

2. Negativní vliv VTE na životní prostředí

Větrné elektrárny jsou šetrnější k životnímu prostředí, než například jaderné či uhelné elektrárny, kde vzniká odpad (ať už v tuhé či plynné formě). Avšak i zde může být jistý negativní dopad na životní prostředí. Při posuzování vlivu VTE na životní prostředí je třeba sledovat tyto faktory: hluk; vliv na krajinný ráz; ohrožení fauny, zejména ptáků a netopýrů; stroboskopický efekt; vliv na půdu, povrchové a podzemní vody; další vlivy (LAPČÍK 2008).

2.1 Hluk

Proudění vzduchu okolo rotorových listů a činnost generátorů větrného motoru u VTE působí hluk (ČSVE 2011). Avšak díky neustálému vývoji a inovací v oblasti VTE můžeme počítat s neustálým snižováním hluku. Hodnocení hluku je prováděno pomocí tzv. hlukové studie, která je prováděna u nejbližší zástavby. Podle legislativy by hluk u nejbližší zástavby neměl překročit 50 dB ve dne a v noci 40 dB (LAPČÍK

2008). Pokud VTE tyto limity po dostavbě nesplňuje, řeší se situace regulací výkonu či dokonce dočasným vypnutím VTE v noční době (FRÝZA 2010). V procesu výstavby samotné VTE vzniká dočasně hluk z dopravy. Je potřeba vykopat a odvést cca 770 m^3 zeminy a přivést cca 490 m^3 betonu na jednu VTE. Hluk se projevuje hlavně v denní době, kdy probíhá výstavba. Tento hluk je však pouze dočasný a méně významný (LAPČÍK 2008).

V souvislosti s hlukem bývají často obavy ze vzniku zvuku o velmi nízkém kmitočtu nebo-li infrazvuku (ČSVE 2011). NONDEK (2007) uvádí, že hluk z VTE o frekvenci menší než 150 Hz negativně ovlivňuje soustředění a to převážně u lidí staršího věku či u dětí. Může způsobovat i ztrátu orientace, bolesti hlavy, nevolnost, stres nebo poruchy spánku. Tato skutečnost je podle ČSVE (2011) zbytečně obávaná domněnka vrytá do podvědomí občanů. Průzkumy Národní referenční laboratoře prokázaly, že infrazvuk produkovaný VTE je výrazně nižší, než je práh vnímání. Infrazvuk se může vyskytnout jen krátkodobě a to jen v případě nějaké mechanické poruchy (ČSVE 2011). NONDEK (2007) má jiný názor. Podle něj jsou hlukové studie dodávané investorem nepřesné a neodpovídají realitě. Odkazuje na webové stránky UK National Physical Laboratory, kde v oddělení akustiky (http://www.npl.co.uk/acoustics/techguides/) si může laická veřejnost samostatně spočítat hlukovou studii. Dodává, že ve studiích z roku 2007 je stanovena minimální vzdálenost VTE od obytného území 1,5 km. To platí zvláště pro školy, domovy důchodců, nemocnice apod.

2.2 Vliv na krajinný ráz

Krajinný ráz je definován podle § 12 zákona č. 114/1992 Sb. (Zákon o ochraně přírody a krajiny) jako přírodní, kulturní a historická charakteristika určitého místa či oblasti. Umisťování a povolování staveb tedy musí být prováděno pouze v souladu se zákonem a nesmí narušovat významné krajinné prvky, dominanty krajiny, zvláště chráněná území, harmonické měřítko apod. (LAPČÍK 2008). Přesné znění dle § 12 zákona č. 114 / 1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění uvádí MŽP:

(1) Krajinný ráz, kterým je zejména přírodní, kulturní a historická charakteristika určitého místa či oblasti, je chráněn před činností snižující jeho estetickou a přírodní hodnotu. Zásahy do krajinného rázu, zejména umisťování a povolování staveb, mohou být prováděny pouze s ohledem na zachování významných krajinných prvků, zvláště chráněných území, kulturních dominant krajiny, harmonické měřítko a vztahy v krajině.

(2) K umisťování a povolování staveb, jakož i jiných činnostem, které by mohly snížit nebo změnit krajinný ráz, je nezbytný souhlas orgánu ochrany přírody. Podrobnosti ochrany krajinného rázu může stanovit ministerstvo životního prostředí obecně závazným právním předpisem.

(3) K ochraně krajinného rázu s významnými soustředěnými estetickými a přírodními hodnotami, který není zvláště chráněn podle části třetí tohoto zákona, může orgán ochrany přírody zřídit obecně závazným právním předpisem přírodní park a stanovit omezení takového využití území, které by znamenalo zničení, poškození nebo rušení stavu tohoto území.

Vliv VTE na krajinný ráz je hodnocen pomocí vizualizací, map viditelnosti a odborných posudků. Názory na narušení krajinného rázu výstavbou VTE se různí. Mnoho lidí žijících v okolí VTE prohlásilo, že jejich předchozí obavy z výstavby byly zcela zbytečné. Průzkumy ve Skotsku ukázaly, že velké větrné farmy nemají žádný významný dopad na turistický ruch (AL-SHEMMERI 2010). Avšak MOLNÁROVÁ & kol. (2012) uvádí, že vizuální hodnocení VTE v krajině je závislé na charakteru a kvalitě krajiny. Například v jižní Austrálii výzkumy prokázaly, že veřejnost negativně hodnotila VTE v krajině s vyšší scénickou hodnotou, ale pozitivně hodnotila VTE v krajině s nižší scénickou hodnotou.

MOLNÁROVÁ & kol. (2012) ve svých výzkumech zjistili, že veřejnost hodnotí negativně VTE simulované v krajině s estetickými prvky vysoké kvality a kladně hodnotí VTE situované v neatraktivní krajině. Veřejnost snáze přijímá menší počet VTE a umístěných mimo pozorovací body jako jsou sídla, silnice apod.

V roce 2002 proběhly protesty stovek lidí v Irsku u Portstewart proti rozlehlé výstavbě VTE na pobřeží. Důvodem bylo ohrožení scenérie a trvalé snížení turismu v této oblasti (NONDEK 2007). RODMAN & MEENTEMEYER (2006) se zmiňují, že obyvatelé z Nantucket v Massachusetts jsou přesvědčeni, že plánovaná výstavba 130 VTE na pobřeží vizuálně poškodí celý krajinný ráz. Místní studie předpovídají, že díky vizuálnímu poškození vznikne ztráta 57 000 000 dolarů ročně v oblasti cestovního ruchu.

Stavby VTE svou specifickou výškou a rotující vrtulí zcela mění dosavadní konvenci o posuzování vlivu staveb na krajinný ráz. A tak je možné, že se díky VTE začne více zanedbávat hodnocení billboardů, stožárů vysokého napětí či transformátorů. Estetická hodnota krajiny tak začne výrazně klesat (SKLENIČKA 2006a).

Zajímavá diskuze probíhala při plánování výstavby větrného parku v jihomoravském kraji. Mnoho odborníků se vyjadřovalo k výstavbě VTE nejen na Moravě, ale i v celé ČR. BUČEK (2007) popisuje jihomoravskou krajinu jako historickou. Jedinečnou svými vinicemi, akátovými lesy a sady s teplomilnými ovocnými dřevinami. Je to území panonské pánve, kde by neměly stát VTE a to ani v jejím okolí. Avšak LINHARTOVÁ (2007) oponuje. Plánovaná výstavba VTE nebyla situována ani v chráněných územích nebo v blízkosti významných krajinných prvků. Nebyla by umístěna ani v blízkosti vinic, vinných sklepů nebo jiných kulturně-historických

objektů. Přesto výstavba větrného parku nebyla povolena. Byla zamítnuta už v pokročilé fázi přípravy na příkaz státní správy. Investor tak zbytečně zmařil mnoho peněz a finančních prostředků (LINHARTOVÁ 2007). PROCHÁZKA (2007) se zmiňuje o problému s legislativou. Kraje nepřizpůsobují svou starou energetickou koncepci té nové, která podporuje OZE. Tento problém hrál důležitou roli právě v případě výstavby větrného parku v jihomoravském kraji. ŠŤASTNÁ (2007) dodává důležité informace pro investory, aby předešli konfliktu s okolními obcemi u VTE. Investor by měl předem jednat o stavbě nejen s dotčenou obcí, na jejímž katastru je plánovaná VTE, ale měl by jednat i s větším okruhem okolních obcí, které se můžou cítit dotčeny. Názory odborného znalce by měly být upřednostněny před názory laické veřejnosti.

Pokud bychom porovnali vizuální dopad atomových a uhelných elektráren (včetně uhelných dolů) s VTE, zjistíme, že vizuální dopad VTE je relativně menší. Hodnocení vlivu VTE na krajinný ráz je velmi subjektivní záležitost. VTE je stejně dominantní prvek jako jakákoliv jiná výšková stavba (ČSVE 2011).

2.3 Ohrožení fauny, zejména ptáků a netopýrů

Divoká zvěř (zajíci, srnci, lišky apod.) si na blízkost VTE rychle zvyká. Potvrdily to výzkumy, které prováděl Ústav pro výzkum divoce žijících zvířat na veterinární univerzitě v Hannoveru. Vědci srovnávali počty zvěře žijící na území s VTE a na území bez VTE. Nebyly shledány žádné rozdíly. Na přítomnost VTE si rychle zvyká i dobytek (ČEZ 2012).

Před stavbou jsou vždy prováděny studie a posuzování vlivu VTE na životní prostředí (EIA). A to zejména z důvodu ochrany ptactva a netopýrů. Roční pozorování avifauny v blízkosti VTE je nutností (ŠŤASTNÁ 2007). Pokud se v okolí VTE vyskytuje ohrožený druh nebo pokud je VTE plánovaná do míst významných migračních tahů, je výstavba VTE zpravidla zakázána (ČSVE 2011).

BEJČEK & kol. (2007) se zmiňuje o vlivu VTE na faunu v několika bodech.

- **Rušení.** Způsobování hluku třením větru o listy, mechanickými součástkami nebo samotou výstavbou a dopravou součástek může mít za následky odsun daného druhu do jiných stanovišť, k přemístění či vyloučení celé místní populace. Tyto následky jsou podmíněné nejen lokalitou, kde je stavba umístěná, ale též morfologií terénu apod. Některé druhy ptáků mohou být rušeny rotující vrtulí.
- **Přímé usmrcování.** Jedná se o úmrtí vlivem přímé kolize s rotorem VTE. Zde jsou opět problematické převážně velké větrné parky. Usmrcování ptáků je v těchto případech vysoké. U druhů s nízkým počtem jedinců a vyšší délkou života však můžou být i menší počet úmrtí fatální.

- **Ztráta či fragmentace biotopu.** Při výstavbě VTE je nutné vybudovat přívodovou elektrickou síť, pokud v blízkosti žádná není, a potřebnou infrastrukturu pro dopravu stavebních dílů apod. Následkem této činnosti může být fragmentace krajiny a odstraňování porostů.
- **Migrační překážka.** Velké větrné parky mohou výrazně ovlivňovat migrační tahy ptáků a netopýrů. Nemusí se jednat nutně o úmrtí jedinců vlivem srážky s VTE, ale o změnu migračního směru vlivem velké překážky. U VTE v malých počtech tento problém nenastává.

V Krušných horách nastává vlivem výstavby VTE problém s ochranou vzácného tetřívka obecného *(Tetrao tetrix).* Právě zde totiž žijí nejvýznamnější populace tetřívka a zároveň jsou zde ideální větrné podmínky pro stavbu VTE. Vstupem do EU ČR vymezila tzv. ptačí oblasti (PO), která chrání území s ohroženými ptačími druhy. Není nutné vymezovat plošné PO, stačí zajistit ochranu klíčových území pro tetřívka obecného (tokaniště, hnízdiště, potravní biotopy, zimoviště). Právě tokaniště se nachází na otevřených plochách, které jsou pro investory VTE nejvíce žádoucí. Podobně jsou nevhodné záměry výstavby VTE do porostů náhradních dřevin nebo v jejich blízkosti. Jakékoliv záměry investora jsou potřeba pečlivě zvážit a rozhodnout až na základě výzkumu a pozorování, které trvá minimálně rok (BEJČEK & kol. 2007)

GAISLER (2007) poukazuje na výzkumy v oblasti mortality netopýrů a též na jejich nedostatek. Skutečné nebezpečí VTE pro ptáky a netopýry bylo prokázáno při budování velkých vnitrozemských větrných parků. Ve státě Minnesota v USA byl proveden čtyřletý monitoring usmrcených ptáků a netopýrů. Podle výzkumu často počet usmrcených netopýrů převyšoval počet usmrcených ptáků. V Spojených státech byla z iniciativy Dr. Merlina D. Tuttlea založena nezisková organizace BatConservation International (BCI). Tato organizace sdružuje okolo 11 500 členů z 60 států USA. Je to největší sdružení lidí, který se zajímá o netopýry. A zároveň jeden z největších nevládních ochranných spolků na světě. První počin této organizace bylo zjištění úmrtí okolo 2000 netopýrů ročně ve větrném parku o počtu 44 VTE. BCI následně podepsala smlouvu s dalšími nevládními organizacemi a univerzitami. Výsledkem bylo založení družstva Bats and Winds Energy Cooperative (BWEC). Ta vede podrobné výzkumy mortality netopýrů až dodnes. Zajímavé je, že netopýři nalétávají na vrtule i v případě, že jsou mimo provoz. Příčiny nalétávání netopýrů na VTE nejsou zcela jasné. Existuje několik hypotéz.

- **Hledání úkrytu.** Netopýři se snaží najít úkryt na různých částech VTE (gondola, listy rotoru). To by odůvodňovalo i nalétávání netopýrů na VTE mimo provoz.
- **Létající hmyz.** V noční době je létání hmyzu přirozené. VTE produkuje z generátoru teplo. Hmyz je teplem přitahován a láká své potenciální predátory.
- **Migrační tahy.** Pokud VTE stojí v cestě netopýřích migračních tahů, je šance úmrtí mnohem vyšší.

- **Zvukové efekty.** Netopýři by mohli být přitahováni zvukem od VTE. Tato hypotéza je však nepravděpodobná.

Bylo zjištěno, že nejvíce úmrtí dochází při frekvenci 17 otáček za minutu u VTE. A to v době od července do září. V Evropě jsou nejčastěji za oběť tyto netopýří druhy: netopýr rezavý *(Nyctalus noctula)*, netopýr parkový *(Pipistrellus nathusii)* a netopýr pestrý *(Vespertilio murinus)*, někde i netopýr večerní *(Eptesicus serotinus)*. Testují se různé technologie na odstrašování netopýrů. Tyto technologie by se jednoduše nainstalovaly na gondolu u VTE. Snaha je o ultrazvukové nebo radarových vysílačů.

Mnoho konzervativních ornitologů se odkazuje na mrtvé ptáky ležící pod stožárem VTE. Domnívají se, že VTE zásadní překážkou pro jakýkoliv ptačí let (AL-SHEMMERI 2010). Avšak z dlouhodobých výzkumů bylo vypozorováno, že 97% ptáků z 87.000 se rotoru VTE zcela vyhnulo. Před rotující vrtulí vzniká tlakový polštář, takže pokud se pták přiblíží blízko rotoru, často ještě změní směr. Zbývající 3% ptáků letěla skrz, kde se většinou střetli s rotorem. Ne vždy však tento střet končil smrtí či těžkým zraněním (LAPČÍK 2008). Z dlouhodobého pozorování úmrtnosti ptáků následkem lidské činnosti byl zjištěn tento poměr (AL-SHEMMERI 2010):

VTE ..... 1 ks

Komunikační věže..... 158 ks

Pesticidy ..... 2.350 ks

Kamiony..... 2.810 ks

Kočky ..... 3.510 ks

Vedení vysokého napětí ..... 4.560 ks

Budovy/okna ..... 19.300 ks

2.4 Stroboskopický efekt

„Stroboskopický jev je děj, kdy otáčející se předměty osvětlované periodicky proměnným světlem se zdánlivě nepohybují. V případě provozu větrných elektráren se však jedná spíše o možný efekt světelných záblesků a zastiňování pohyblivým stínem za slunečního svitu.“ píše o problematice stroboskopického efektu u VTE LAPČÍK (2008). Odraz slunečního záření se však dá eliminovat např. šedou barvou listů rotoru (LAPČÍK 2008). V ranních a večerních hodinách mohou VTE vrhat dlouhé stíny, které mohou obtěžovat obyvatele blízkých domů (FRÝZA 2010). Tento problém se však řeší studií a výpočty ještě před stavbou VTE (AL-SHEMMERI

2010). VTE tak bývá umisťována ve vzdálenosti min. 0,6 – 0,7 km od nejbližší zástavby. Od této vzdálenosti dále bývají stíny již těžko rozlišitelné. Simulační softwary odhadují již velmi přesně, kdy může nastat stroboskopický efekt, a je-li to nutné, mohou být VTE v inkriminovaných časech mimo provoz (ČSVE 2011).

2.5 Vliv na půdu, povrchové a podzemní vody

Při výstavbě VTE je vystavěn betonový základ o ploše cca 256 m^2 a hloubce až 2 m (ČSVE 2011). Také je nutné počítat se záborem půdy pro výstavbu, která tvoří až 0,13 ha a s vytvořením zpevněných příjezdových cest. VTE a její stavba však nijak neovlivní proudění podzemních i povrchových vod, ani jejich kvalitu. Nicméně je potřeba zajistit kvalitní odtok a zamezit erozních jevů a odnosu zeminy zejména při výstavbě VTE (LAPČÍK 2008).

2.6 Další vlivy

Okolo výstavby VTE existuje mnoho dalších diskutabilních negativních dopadů:

NONDEK (2007) uvádí, že tržní cena realit v okolí VTE může vážně poklesnout. Např. v Prince EdwardCounty v Kanadě došlo vlivem výstavby farmy větrných elektráren ke snížení cen nemovitosti.
Tato skutečnost je teoreticky možná, avšak v praxi je změna hodnot téměř vždy nulová (SKLENIČKA 2007).

V zimním období může na listech rotoru vznikat ledová tříšť. Ta je nebezpečná, pokud se odlomí a odlétá do okolí. U starších VTE se problém řeší výstražnými cedulemi, které jsou umístěny v dostatečné vzdálenosti (v okruhu cca 250 m od VTE). Nové VTE mají již vyhřívané listy, které zabraňují jakýmkoliv námrazám. Další možnost je instalace signalizačních zařízení, která námrazu odhalí a v případě nebezpečí VTE uvede mimo provoz (LAPČÍK 2008).

VTE umístěné poblíž radarů či letišť ruší dálkové vysílání. Mohou též způsobovat problémy s televizním či rádiovým signálem (AL-SHEMMERI 2010). NONDEK (2007) se zmiňuje o poruchách v televizním přijímači v podobě ztráty ostrosti či jasu barev. Možné je i zhoršení kvality zvuku.

RYVOLOVÁ & ZEMPLINEROVÁ (2010) se ve své práci zmiňují o nešetrnosti VTE k životnímu prostředí. Pokud by měly započítat emise uvolněné z potřebných záložních zdrojů pro vyrovnávání náhlých výkyvů energie vyprodukované z VTE, tak nelze větrné elektrárny hodnotit jako zdroj s nulovou produkcí CO_2 a jiných skleníkových plynů.

3. Hodnocení vizuálního vlivu VTE

Postavení VTE je nesporný zásah do krajinného rázu. Pozmění se identita a charakter území v okolí několik desítek km od VTE. Je nezbytné stavbu VTE a její vliv na krajinu předvídat a předem vyhodnotit možné dopady a poškození krajinného rázu (SKLENIČKA 2006b). MOLNÁROVÁ & kol. (2012) uvádí, že pro hodnocení vizuálního narušení krajiny je potřeba znát názor respondentů. Jsou tedy vytvářeny studie s verbálním popisem krajiny a jejich hodnotami, počítačové simulace VTE v krajině nebo fotografické simulace VTE. Verbální popis krajiny často není přesný a ne vždy obsahuje podstatné krajinné hodnoty. Pro věrohodnost fotografických simulací je důležité realistické zobrazení. Dále uvádí, že pro podrobné hodnocení vizuálního vlivu VTE na krajinu je důležité započítat tyto údaje: výšku, barvu a počet VTE, rotor v pohybu, barvu VTE, různé vzdálenosti od VTE, hodnotu krajinného rázu, názor veřejnosti v okolí VTE. (MOLNÁROVÁ & kol. 2012). Ucelených studií, které by braly v úvahu všechny podstatné faktory pomocí počítačových i fotografických simulací, není mnoho.

Velmi podrobnou studii vizuálního hodnocení pomocí fotosimulace a dotazníků zpracovali MOLNÁROVÁ & kol. (2012). Při použití devíti fotografií s VTE se dotazovali na míru narušení krajiny. Byly zaznamenány podrobné informace o dotazovaných – jejich vzdělání, věk, postoj k VTE, bydliště (v blízkosti VTE či ne), vztah ke krajině apod. Příklad několika fotosimulací na obr. č. xxx. Průměrný názor veřejnosti na VTE v krajině byl mírně negativní. Rozdíly mezi názory skupinou se vztahem ke krajině (např. povoláním) a skupinou bez vztahu byly minimální. Estetický vkus a měřítko hodnot tedy je pro většinu lidí podobné.

Pro předběžné vyhodnocení VTE v krajině slouží metodický návod pro preventivní hodnocení území kraje nebo menších samosprávních celků. Součástí metodického návodu je i řešení vizuálního vlivu. Návod pro preventivní hodnocení území nenahrazuje přímé hodnocení EIA ani územní řízení. Metodický návod slouží pouze jako podklad pro hodnocení vlivů záměrů investora VTE nebo fotovoltaických elektráren (FTE). Návod definuje území formou negativního vymezení. Výsledkem jsou území, pro která je výstavba VTE či FTE nevhodná, spíše nevhodná či přípustná. Nevhodná území neznamenají nutně nepovolení stavby, ale upozorňují na případné riziko nepovolení a velkou administrativní zátěž při podání žádosti o povolení stavby. Analogicky přípustná území nejsou jistá území pro stavbu. Vše záleží na individuálním posouzení každého konkrétního záměru a splnění potřebné legislativy pro umístění stavby (SKLENIČKA & VOREL 2012).

3.1 Hodnocení vizuálního vlivu v případě záměru výstavby VTE

Digitální analýza viditelnosti

Parametry viditelnosti jsou základním východiskem pro hodnocení míry narušení krajinného rázu. Analýzy viditelnosti se provádějí pomocí digitálního modelu terénu v GIS a pomocí terénního šetření. Analýza viditelnosti pro VTE je většinou prováděna pro výšku stožáru (tj. střed rotoru), která činí u moderních VTE okolo 100 m a pro patu stožáru VTE (SKLENIČKA & VOREL 2012).

Na základě analýzy viditelnosti je možné zjistit dotčený prostor v okolí, rozlohu dotčeného území a determinovat jednotlivé pohledy na významné krajinné prvky (např. historické památky či přírodní dominanty). Analýza by měla zahrnovat území ve vzdálenosti 10 – 25 km od VTE, v závislosti na rozměrech VTE. Rozlišení digitálního modelu terénu je doporučené max. 10 m. Půdní pokryt (tzv. land cover) je nutné při analýze viditelnosti zohlednit. Obvykle se vytváří tři různá pásma viditelnosti. V prvním pásmu do 3 km je VTE s výškou cca 100 m silně viditelná, působí jako jednoznačná dominanta. Pásmo mezi 3 – 6 km se vyznačuje zřetelnou viditelností. VTE může být částečně potlačena většími skladebními prvky obrazu. V pásmu mezi 6 – 12 km se VTE již výrazně uplatňuje na krajinném obrazu. Viditelná však je, ale její vliv na okolí je silně potlačen (SKLENIČKA 2006b).

Fotosimulace (foto č. 3)

Pro realistické zobrazení vystavěné VTE se používají též fotografické simulace (fotosimulace) stojících VTE v krajině. Tato metoda se často používá při zjišťování názoru veřejnosti. Používá se formou vytištěné fotografie a dotazníku (MOLNÁROVÁ & kol. 2012). Fotografická simulace zabírá pohledy z důležitých pozic v krajině, zpravidla v prvních dvou pásmech viditelnosti podle metodického návodu (viz výše), a představuje tak reálnou situaci v krajině (OBST & OBSTOVÁ 2010).

foto. č. 3 – Fotosimulace různě vzdálených VTE

Zdroj: MOLNÁROVÁ & kol. (2012)

3.2.1 Možnosti analýzy viditelnosti v GIS

První krok při analýze viditelnosti je tvorba kvalitního digitálního modelu terénu. Ten je vytvořen vhodnou interpolační metodou a následným přidáním výškového pokryvu země (zpravidla vegetace, zástavba). V prostředí GIS jsou k dispozici tři hlavní metody výpočtu analýzy viditelnosti. Tyto metody se nazývají odlišně v různých GIS (POPELKA & VOŽENÍLEK 2010). V ArcGIS jsou užívány tyto základní metody (POPELKA & VOŽENÍLEK (2010):

- **Line of Sight.** Tato analýza určuje viditelnost mezi dvěma body spojených linií. Software rozdělí linii na úseky, které jsou viditelné a které skryté za překážkou. Některé aplikace kombinují tuto metodu s terénním modelem a vytváří křivku, znázorňující výškový profil vedené linie.
- **Viewshed.** Algoritmus této metody odhaduje rozdíl mezi jednou buňkou rastru, která reprezentuje pozorovatele, a cílovou buňkou. Mezi těmito buňkami je vedena linie pomocí Line of Sight. Pokud se mezi pozorovatelem a cílem nachází vyšší hodnota, je liniová čára blokována a buňka označena jako „Not Visible“. Tato metoda byla zvolena v mé práci.
- **Visibility.** Funkce Visibility je rozšířená funkce Viewshed.

3. Digitální model terénu (DTM)

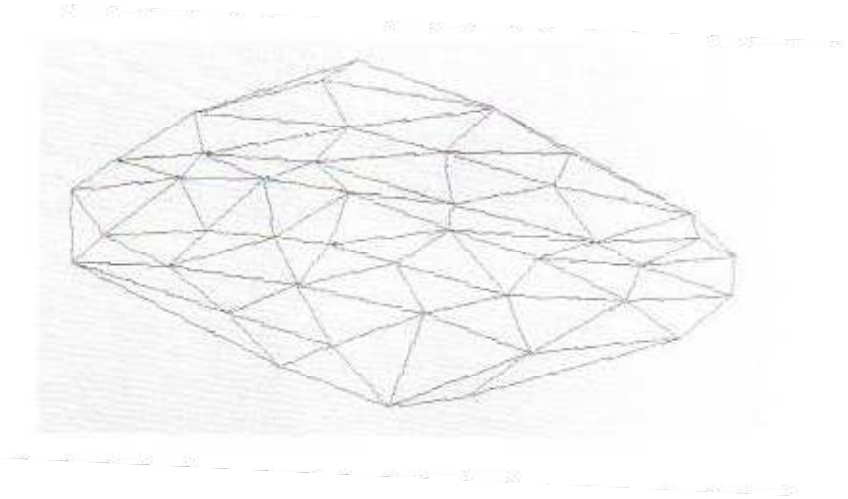
URBAN (1991) považuje termín „Digitální model terénu“ za ne zcela jasný. Pojem terén znamená převážně samotný reliéf zemského povrchu, ale může znamenat navíc také hranice kultur, správních celků, vodstvo – zkrátka vše, co je zobrazováno na topografických mapách. Zkratka DTM označující digitální model terénu vznikla z anglického „Digital Terrain Model“ (YAN LI & LIANHE YANG 2009). Digitální model terénu je podle Terminologického slovníku zeměměřičství a katastru nemovitostí definován jako „digitální reprezentace reliéfu zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů“ (ČÚZK 2012). Jak však uvádí KOLÁŘ (1997), nemusí se vždy jednat o rozměrové údaje terénu. Podobně lze totiž znázorňovat data o populaci, teplotě vzduchu a rostlinné nebo živočišné produkci. Samotný zemský reliéf, který je simulován pomocí DTM, lze charakterizovat jako funkci tří proměnných (x, y, z). Každý bod v terénu lze zobrazit pomocí polohopisných souřadnic x, y a výškové souřadnice z. (MAYER 1995).

3.1 Základní typy DTM

Všechny DTM jsou rozděleny na elementární plošky, které lze snadno geometricky popsat. Tím vylučujeme např. terénní model, který je reprezentován vrstevnicemi v digitální podobě či jinými charakteristickými čarami. Podle charakteristik elementárních plošek můžeme rozdělit DTM na několik typů (URBAN 1991; MAYER 1995):

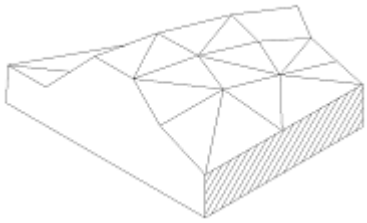
Polyedrický model (obr. č. 8, obr. č. 9). Model též zvaný TIN (z anglického triangulated irregular network). Tento model je tvořen elementárními ploškami trojúhelníkovitého tvaru. Tyto plošky k sobě přiléhají stranami a vytváří tak mnohostěn, který představuje průběh terénu. Jednotlivé vrcholy trojúhelníku jsou body na terénním povrchu, které byly určeny příslušnými geodetickými metodami. Tyto body musí být vhodně zvoleny tak, aby vystihovaly nejen průběh terénu, ale i jeho singularity. TUČEK (1998) dodává výhody a nevýhody tohoto modelu. TIN je nenáročný na datové údaje a u TIN je možné vypočítat jakoukoliv výšku terénu pro libovolný bod zkoumané plochy. Nevýhoda je složitost struktury a postup jejího vzniku.

obr. č. 8 – Polyedrický model



Zdroj: MAYER 1995

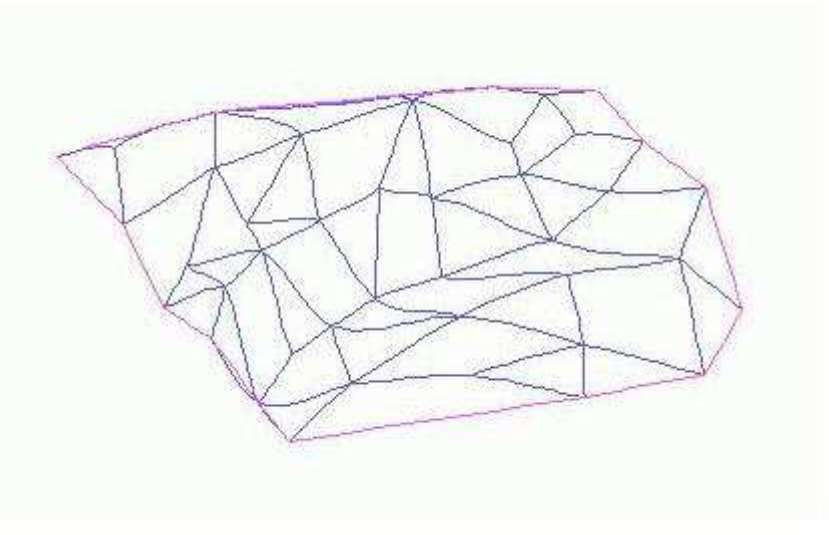
obr. č. 9 – Polyedrický model v 3D zobrazení



Zdroj: http://geo3.fsv.cvut.cz

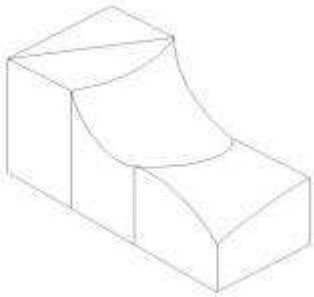
Plátový model (obr. č. 10, obr. č. 11). Tento typ je mírně podobný polyedrickému modelu. Rozděluje povrch na nepravidelné, obecně křivé plošky trojúhelníkového nebo čtyřúhelníkového tvaru. Hranice těchto křivých tvarů vedou po singularitách. Občas se v tomto modelu vyskytují i plošky n-úhelníkového tvaru. Tento způsob grafického znázornění křivých ploch byl poprvé použit v průmyslovém designu.

obr. č. 10 – Plátový model



Zdroj: http://gis.vsb.cz

obr. č. 11 – Plátový model v 3D zobrazení

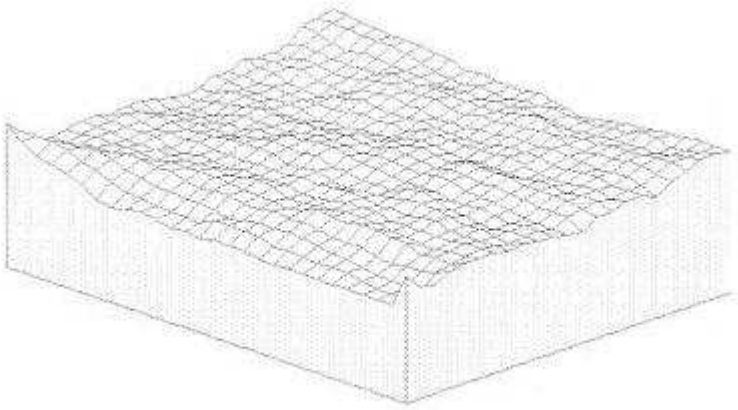


Zdroj: http://geo3.fsv.cvut.cz

Rastrový model (obr. č. 12). Nepravidelný rastrový model (tzv. Lattices) jsou složeny z tzv. zborcenými čtyřúhelníky (obr. č. 12), které je možno rozdělit na trojúhelníky. Každá ploška (buňka) má konstantní hodnotu výšky uloženou ve svém středu. Vrcholy zborcených čtyřúhelníků nejsou přímo měřené, ale dopočítány matematickým algoritmem. Je zřejmé, že hranice mezi elementárními ploškami nemohou dávat přesnou informaci o průběhu singularit, pokud rastr není dost hustý.

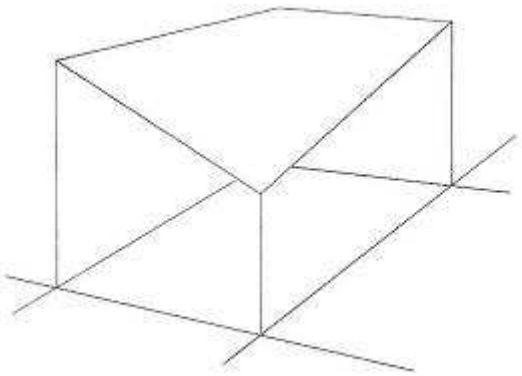
Pravidelný rastrový model je tvořen pravidelnými ploškami nezbořených čtyřúhelníků (např. čtverců). Každá buňka má konstantní hodnotu. Výhodou rastru je snadná pochopitelnost struktury. Nevýhody rastru je datová náročnost pro větší území (TUČEK 1998).

obr. č. 12 – Nepravidelný rastrový model (tzv. Lattices)



Zdroj: MAYER 1995

obr. č. 13 – Zborcený čtyřúhelník



Zdroj: MAYER 1995

3.4 Tvorba DTM

3.4.1 Sběr dat

MAYER (1995) a HENGL & kol. (2003) uvádějí několik způsobů, jak získat potřebné podklady pro tvorbu digitálního modelu terénu:

- **Geodetické měření.** Měření může probíhat dvěma způsoby. Klasickou tachymetrií území nebo použití totální stanice. Teoretická přesnost totální stanice je až 0,001m. V praxi nepřesahuje 1m. Pravděpodobně nejpřesnější, avšak časově nejnáročnější metoda. Proto je vhodná při mapování menších území.

- **Digitalizace existujících mapových podkladů.** Tato metoda je velmi ovlivněna subjektivním výkladem výškových bodů. Každý kartograf si vrstevnice utvoří podle svého subjektivního názoru, což často vede k jisté neurčitosti vrstevnic a tedy i celého mapového podkladu. Snad jedinou výhodou této metody je snadná dostupnost topografických map.

- **Vyhodnocování fotogrammetrických snímků.** Pravděpodobně nejpoužívanější metoda. Reliéf terénu je snímán letadly či družicemi. Získání dat touto metodou je možné dvěma způsoby. Jednosnímková fotogrammetrie vyhodnocuje terén na základě pouze jednoho snímku. Dvousnímková fotogrammetrie (tzv. stereofotogrammetrie) vyhodnocuje terén na základě dvou a více snímků stejného území. Tyto dvourozměrné snímky jsou poté převedeny na trojrozměrný model terénu. Přesnost dvousnímkové fotogrammetrie může být 0,1 až 1m u leteckého a 10 až 20m u družicového způsobu.

- **Kombinace metod.** Digitalizace mapových podkladů s dodatečným měřením nebo vyhodnocování fotogrammetrických snímků s dodatečným měřením.

- **Radarová interferometrie.** Tato metoda je pravděpodobně nejlevnější ze všech. Povrch je snímán radarovými paprsky pomocí letadel nebo družic. Při použití letadla je uváděná přesnost od 0,5 do 2m. Radarová interferometrie pomocí družic je méně přesná - od 10 do 25m.

- **Laserová altimetrie (laser scanning).** Terén je snímán z letadla laserovými paprsky. Tato průkopnická metoda je náročná na zpracování dat. Je totiž nutné odstínit lesní porosty a vodní plochy. Laserová altimetrie je velmi přesná (0,2 až 1m), avšak také velmi drahá.

4.2.2 Konstrukce trojúhelníkové sítě TIN

Tvorba trojúhelníkovité sítě je zásadním nástrojem pro vytvoření polyedrického nebo plátového modelu. Slovy je možné tento proces definovat takto (URBAN 1991): „Je dána množina bodů P_1, P_2, P_3,... P_n svými souřadnicemi [x, y, z]. Body se mají pospojovat tak, aby vznikla množina trojúhelníků, které k sobě přiléhají a neprotínají se. Přirozeným požadavkem je, aby generované spojnice byly co nejkratší, neboť pak

vznikají trojúhelníky s minimální plochou, které se nejlépe přimykají k aproximované ploše.“

Jako vstupní data je použita množina bodů $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$, $P_3(x_3, y_3, z_3)$, ..., $P_n (x_n, y_n, z_n)$. Výstupem je vhodná trojúhelníková síť. MAYER (1995) uvádí několik algoritmů pro tvorbu trojúhelníkové sítě:

Algoritmus 1.:

1) vytvoř všechny možné spojnice bodů z množiny P a dej je do množiny M
2) pro každou spojnici z množiny M proveď:

   - pokud svojí délkou přesahuje povolenou mez, zruš ji

   - pokud protíná spojnici kratší, zruš ji

3) výsledkem je množina M, obsahující trojúhelníkovou síť

Algoritmus 2.:

1) zvol libovolný počáteční bod A (nejlépe přibližně uprostřed trojúhelníkové sítě)
2) najdi bod B nejbližší k bodu A, zařaď úsečku AB do množiny K a orientované úsečky AB a BA do seznamu orientovaných úseček S
3) je-li seznam S prázdný, algoritmus končí, jinak opakuj body 4-6
4) vezmi poslední úsečku seznamu S (nazveme ji AB) a najdi bod C takový, aby úhel ACB byl maximální
5) pokud bod C není incidentní se žádnou úsečkou z množiny K, zařaď do množiny K úsečky AC a BC a do seznamu S úsečky AC a CB
6) pokud bod C je incidentní s nějakou úsečkou množiny K, je nutné vyřešit konfliktní situace a zařadit do množiny K a do seznamu S vhodné úsečky tak, aby seznam stále obsahoval úsečky ležící na obvodu „dosud pospojované“ oblasti

Každý z algoritmů vytváří mírně odlišnou trojúhelníkovou síť. Mohou se pospojovat pokaždé trochu odlišné body. Rozdíly však nebudou nikdy zásadní. Pokud se do původního bodového pole definují umělé spojnice, jedná se o tzv. omezenou triangulaci. Zvýší se tím náročnost vytvoření TIN, ale povrch bude při správné definici spojnic přesnější (TUČEK 1998).

4.2.3 Tvorba plátového modelu

Filosofie plátového modelu je založena na zpracovávání čtyřúhelníku nebo obecných n-úhelníků. Tyto plošky se zaoblují a vytváří křivé plošné elementy, které lépe kopírují reliéf terénu. Mezi nejpoužívanější křivé plošné elementy patří Bézierův plát nebo Coonsova plocha. Úprava a zobrazování matematicky přesného plátového

modelu je datově i algoritmicky velmi náročná. To je důvod, proč se ze základního polyedrického modelu vytváří spíše rastrový model (MAYER 1995).

4.2.4 Tvorba rastrového modelu

Vstupní údaje musí být specificky uspořádány, aby mohl být vytvořen rastrový model. Obvykle však vstupní údaje nevyhovují zcela takovým požadavkům, proto je potřeba použití různých interpolačních postupů (TUČEK 1998):

- Interpolace výšek bodů rastru z nepravidelně rozmístěného bodového pole. Tento postup je značen zkratkou IDW (Inverse Distance Weighting). Rádius okolí bodu, pro který je hodnota počítána, je definován nebo se může měnit podle počtu nalezených bodů. Z bodů, který se v něm nacházejí, je interpolována hodnota pro rastrovou buňku.
- Interpolace výšek bodů rastru ze zdigitalizovaných vrstevnic. Tato metoda je relativně jednoduchá a nenáročná na hardwarové i softwarové vybavení. Používá se velmi často. Z vrstevnicové mapy se získá průběh jednotlivých vrstevnic pomocí digitizéru. V GIS se pomocí nástrojů převedou vektorové vrstevnice na rastrové a lineární interpolací se vypočítá hodnota pro buňky ležící mezi vrstevnicemi (HENGL & kol. 2003). Nástroj v ArcMap, který jsem použil ve své práci, se nazývá TopoToRaster a využívá právě tohoto principu.
- Interpolace výšek rastru z polyedrického nebo plátového modelu. Předpokladem je dispozice takových modelů. TIN a plátový model popisují terén s velkou přesností. Umožňují navíc spočítat výšku v libovolném bodě. Pomocí interpolace pak můžeme získat výhody rastrového modelu (TUČEK 1998).

4.4 Vizualizace DTM

Smyslem vizualizace je maximální věrohodnost 2D obrazu, který ve skutečnosti zobrazuje 3D model terénu. Pro správnou věrohodnost je důležité použít různé nástroje při vykreslování. Tyto nástroje jsou např. hypsometrie, stínování a jiné (viz níže) (MURDYCH & NOVÁK 1988).

Rozhodující faktory pro vlastní metody vizualizace je skutečnost, zda budou objekty zobrazovány v 2D nebo 2,5D (popř. 3D). V modelování se podle dimenze objekty rozlišují takto (KIRCHNER 2001):

- 2D objekty – objekty jsou zobrazovány v rovinné ploše pomocí souřadnic x a y

- 2,5D objekty – princip je totožný, jako u 2D objektů. Avšak objekty mají kromě souřadnic x,y definován ještě třetí rozměr – výšku z. Výška z je definovaná jako atribut.
- 3D objekty – jedná se o plnohodnotná tělesa, která jsou umístěna v trojrozměrném souřadnicovém systému. Objekty nabývají souřadnic x, y a z.
- 4D objekty – zde se k 3D objektům přidává ještě další rozměr, a sice čas.

Mezi základní metody vizualizace DTM patří:

Metoda vrstevnic

Vrstevnice lze získat na základě údajů z rastrového modelu nebo z polyedrického modelu. Vrstevnice lze v neposlední řadě získat digitalizací topografických map (VOŽENÍLEK 2005). HENGL & kol. (2003) však upozorňují na nepřesnost této metody (např. z důvodu relativně subjektivní tvorby geodeta, který tvořil topografickou mapu) - je vhodnější využít jiné metody.

Barevná hypsometrie

Vizualizace pomocí barevné hypsometrie je založena na přiřazování barev jednotlivým výškovým intervalům. Výškové intervaly jsou nejčastěji používány podle standardních stupnic. Nejčastěji používaná stupnice je definována jako geometricky narůstající řada. Neboť právě ta nejlépe odpovídá rozložení hodnot nadmořských výšek na zemském povrchu: 0 – 50 – 100 – 200 – 500 – 1000 – 2000 – 4000 m. n. m. Hypsometrická stupnice barev je nejčastěji používána tato: zelená – žlutozelená – žlutá – žlutohnědá – oranžovohnědá - hnědá – červenohnědá. Často je také užívá pouze jednobarevná stupnice. Zde je výška určována podle stupně šedi dané barvy (MURDYCH & NOVÁK 1988).

Osvětlení a stínování

Tento proces je definován na základě simulace slunečního záření. Vychází se z předpokladu, že sluneční záření dopadající na povrch je v některých částech terénu odraženo zpět a v jiných pohlceno. A to v různé míře (MAYER 1995). Metoda osvětlení a stínování přiřazuje světlou barvu těm ploškám (pixelům), jejichž normála svírá co nejmenší úhel se směrem dopadajícího záření. A naopak (KADLČÍKOVÁ 2007).

METODIKA

Celou práci jsem prováděl ve východních Krušných horách, konkrétněji na Mostecku v okolí obce Klíny. Většina zájmového území je pokryté horami, pouze v oblasti města Litvínov se nachází v rovinné Mostecké pánvi. Oblast byla v minulosti silně narušena imisemi z blízkých uhelných elektráren. Pozůstatky rozsáhlých škod na životním prostředí jsou stále vidět. Oblast je silně zalesněna. Horská území pokrývá téměř výhradně introdukovaný smrk pichlavý *(Picea pungens)*, který je odolný znečištěnému ovzduší. Nacházejí se zde zrekultivovaná území po povrchových uhelných dolech, která jsou zarostlá převážně břízou *(Betula pendula)*. Bližší seznámení se zájmovým územím se nachází v části „Charakteristika studijního území“ (kapitola 7. Krušné hory).

4. Digitální analýza viditelnosti VTE

4.1 Použitá data a software

Pro tvorbu digitální analýzy viditelnosti jsem potřeboval data ze zájmové oblasti a to konkrétně: vektorovou vrstvu vrstevnic, vrstvu lesů s jejich výškou, vrstvu hranic zdejších okresů (nebo hranic ČR s Německem), ortofotomapu.

Od Ing. Petry Šímové Ph.D., která je vedoucí mé práce, jsem získal potřebná data pro provedení celé digitální analýzy viditelnosti:

- *glesy_most, glesy_tepl, glesy_chom* – tři různé polygonové vrstvy lesů pro okresy Most, Teplice a Chomutov
- *gvrst_most, glesy_tepl, glesy_chom* – tři vektorové vrstvy znázorňující vrstevnice pro okresy Most, Teplice a Chomutov
- *gml_most, gml_tepl* – dvě polygonové vrstvy znázorňující hrubé obrysy okresů Most a Teplice
- DMU25ATR, DMU250BJ – dva dokumenty popisující digitální model území zájmové oblasti (DMÚ), v kterých byly vysvětleny údaje z atributových tabulek vrstev *glesy_most, glesy_tepl* a *glesy_chom*
- *ortofotomapa ČR* – aktuální ortofotomapa ČR ze serveru http://geoportal.gov.cz/

Digitální analýzu viditelnosti jsem prováděl v softwaru ArcMap 9.3 (od firmy ESRI) s nástavbou SpatialAnalyst, která obsahuje důležité funkce pro tvorbu DTM a pro analýzu viditelnosti.

4.2 Základní nastavení

U všech dat jsem nastavil stejný souřadnicový systém S-JTSK_Krovak_East_North. Použil jsem funkci **Merge** pro spojení vrstevnic všech tří okresů. Analogicky jsem provedl spojení lesů i obrysů okresu (*gml*).

4.3 Tvorba DTM

Digitální model terénu jsem vytvořil pomocí funkce **Topo to Rastr**. Jako vstupní data jsem použil vektorovou vrstvu vrstevnic (*gvrst_spoj)*. Vzhledem k velikosti řešeného území (a tedy i rychlosti výpočtu), účelu analýzy a způsobu terénní kontroly (lokalizace kontrolních bodů pomocí turistické GPS, viz kapitola xxx) jsem zvolil rozlišení 30 m (Output Cell size). Vznikla nová rastrová vrstva (*DTM_SPOJ)* představující výškové údaje terénu. Každá buňka měla určitou nadmořskou výšku.

Pro reálnou simulaci terénu bylo nutné k DTM přičíst výšku lesního porostu. Informace o výšce lesa v jednotlivých polygonech byly zapsány v dokumentech DMU25ATR a DMU250BJ.

Kód ve sloupci STYP*	Význam
EC015	les
EB010	louka či pastvina
EB020	křoviny

Kód ve sloupci LES*	Význam
000	neznámý
201	vzrostlý
202	nízký
203	řídký
204	řídký s podrostem

* sloupce STYP a LES jsou v atributové tabulce vrstvy znázorňující lesy (*glesy*)

Na základě konzultace s vedoucí práce jsem přidělil vzrostlému lesu, řídkému lesu a řídkému lesu s podrostem výšku 20m. Nízkému lesu 5m. Pomocí SELECT BY ATTRIBUTES jsem byly vyznačeny polygony se vzrostlým lesem, řídkým lesem a

řídkým lesem s podrostem (ve sloupci LES jsou označeny čísly 201, 203 a 204, viz výše v tabulce) a byla k nim přidělena výška 20 m. Analogicky byla ještě přiřazena výška nízkému lesnímu porostu, avšak zde jen 5m. U luk, pastvin a křovin byla ponechána výšku 0m.

Pro další práci s DTM a vrstvou lesů bylo nutné z vektorové vrstvy *glesy_SPOJ* vytvořit vrstvu rastrovou. K tomuto posloužila funkce **Feature to Raster**. Výsledná rastrová vrstva byla pojmenována *Lesy_rastr.*

Lesy_rastr jsem reclasificoval pomocí funkce **Reclassify**. Veškerým buňkám s hodnotou NoData byla přidělena hodnota 0. Výsledná vrstva dostala název *Lesy_reclass.*

Poté jsem sečetl dvě rastrové vrstvy dohromady - digitální model terénu (*DTM_SPOJ)* a vrstvu lesů (*Lesy_reclass)*. Obě vrstvy mají stejné rozměry v prostoru a stejný atribut (výšku). K součtu vrstev byla použita funkce **Cell Statistics**. Důležité bylo nastavit u OVERLAY STATISTIC možnost SUM. Výsledná vrstva (*vysledn_vyska*) představovala model terénu s nadmořskou výškou, do které se započítávala i výška lesů.

4.4 Vrstva větrných elektráren (VTE)

V programu ArcCatalog jsem vytvořil prázdnou bodovou vrstvu *VTE,* u které jsem definoval nové sloupce – POZICE, OFFSETA, OFFSETB. Sloupec POZICE značí umístění větrné elektrárny (sever x jih). Jedna VTE se totiž nachází více na severu, druhá na jihu. Sloupec OFFSETA značí výšku pozorovatele a má hodnotu 1,8m (prům. výška člověka). Sloupec OFFSETB značí výšku pozorovaného objektu. U VTE SEVER 85m a u VTE JIH 65m. Jižní VTE má sice také výšku 85m, ale nachází se ve vzrostlém lese – respektive nachází se na DTM, který je již navýšen o právě výšku lesa (20m). Do této vrstvy jsem v ArcMapu na základě ortofotomapy ČR vytvořil dva body znázorňující reálnou pozici VTE.

4.5 Viditelnost rotoru VTE

Pomocí funkce **Viewshed**, kde vstupní vrstvu tvořil DTM, byla vytvořena rastrová vrstva (*viditeln_VTE)*. Výsledná vrstva znázorňovala, z jakého místa a jaký počet VTE je možné vidět.

Rastrová vrstva ukazující viditelnost VTE byla přetvořena na vektorovou vrstvu pomocí funkce **Raster to Polygon.** Tento krok byl nezbytný pro další úpravy a pro použití funkcí z Analysis Tools.

Bylo nezbytné upravit vektorovou vrstvu viditelnosti (*viditel_polyg),* jelikož z místa klasického lesa není možné přes koruny stromů větrné elektrárny vidět. Byla vytvořena polygonová vrstva jen s lesy (kód EC015) a přes funkci **Erase** byly odečteny z vrstvy viditelnosti území, kde jsou lesy. Poté se pomocí funkce **Union** sjednotila vrstva lesů (*jen_les)* s „ořezaným“ DTM. Nyní již DTM bral v úvahu nulovou viditelnost VTE v místech lesů.

4.6 Viditelnost paty VTE

Pata VTEb nemůže být vidět z žádného místa. To proto, že se nachází přímo v lese, ve vzrostlém lese! Byla provedena analýza viditelnosti jen pro VTEa, která se nachází na otevřeném prostranství. V ArcMapu byl přidán do nové vrstvy jen jeden bod označující místo VTEa a to na základě ortofotomapy. V atributové tabulce byly přidány údaje o výšce pozorovatele (OFFSETB – 1,8m) a o výšce pozorovaného objektu neboli paty VTEa (OFFSETA – 0m).

Poté byl postup analogický, jako při analýze viditelnosti obou větrných elektráren. Konečná vrstva viditelnosti ukazuje, že pata (a tedy celá) VTE je vidět pouze ve velmi blízkém okolí (do zhruba 300m).

4.7 Okruhy viditelnosti

Analýzu viditelnosti jsem vytvořil ve třech různých okruzích (tj. bufferech). K tomu slouží funkce **Buffer**. Vstupní vrstvu tvořily větrné elektrárny *(VTE),* lineární vzdálenost byla zvolena 5, 10 a nakonec 15 km. Tyto tři vzdálenosti tvoří tzv. pásma viditelnosti, pro které se v praxi zpravidla nejčastěji vytváří analýza viditelnosti (SKLENIČKA 2006b). Výsledkem byly jednotlivé okruhy. Tyto okruhy jsem postupně využil ve funkci **Clip** Vstupní vrstva do funkce **Clip** byla vrstva viditelnosti. Výsledkem byly jednotlivá pásma viditelnosti. Pásmo s poloměrem 10 km *(buffer_10_vidit)* jsem ještě dodatečně ořízl podle vrstvy znázorňující hranice okresů (*gml_SPOJ)* pomocí funkce **Clip**, aby se výsledné území nacházelo převážně jen v ČR. Výsledek byl obrys mého konkrétního studovaného území.

5. Příprava terénního průzkumu

5.1 Rozmístění náhodných bodů

Náhodné body rozmístěné po okolí VTE Klíny měly sloužit k terénní kontrole – tj. k ověření výsledků z ArcMapu se skutečností v terénu. Náhodné body pozorování jsem umístil rovnoměrně, aby v každém území s určitou viditelností (např. viditelnost jen

1 VTE) byl přiměřený počet pozorovacích bodů. Body byly rozmístěné na komunikaci z důvodu relativně snadné dostupnosti.

V ArcMapu tedy byla vytvořena nová liniová vrstva cest a silnic (*komunikace*). Jako podklad pro tvorbu mi byla ortofotomapa ČR. Komunikační síť jsem vytvořil jen do okruhu 10 km od VTE.

Počet bodů na komunikaci v jednotlivých území s určitou viditelností rostl přímo úměrné s plochou daného území s určitou viditelností. Např. na ploše s nulovou viditelností VTE bylo rozmístěno většina bodů, jelikož daná plocha tvořila většinu celého území. Spočetl jsem tedy plochy, odkud je vidět daný počet větrných elektráren (0, 1 nebo 2). V atributové tabulce studovaného území (*buffer_10_vidit_CR)* byl vytvořen nový sloupec PLOCHA, do kterého byla dopočítána plocha pomocí funkce CALCULATE GEOMETRY. Poté jsem vytvořil tabulku *Sum_plocha* přes funkci Summarize. V této tabulce byly vypočítané plochy po jednotlivá území s určitou jednotnou viditelností:

Viditelnost 0 VTE _____238924842 m^2

Viditelnost 1 VTE _____24488632 m^2

Viditelnost 2 VTE _____17775263 m^2

Na rovnoměrné rozmístění bodů mi postačila jednoduchá matematická rovnice.

Viditelnost 0 VTE:

$$\frac{100 * 238924842}{238924842 + 24488632 + 17775263} = 85 \text{ bodů}$$

Viditelnost 1 VTE:

$$\frac{100 * 24488632}{238924842 + 24488632 + 17775263} = 9 \text{ bodů}$$

Viditelnost 2 VTE:

$$\frac{100 * 17775263}{238924842 + 24488632 + 17775263} = 6 \text{ bodů}$$

Bylo důležité vytvořit samostatné liniové vrstvy, které by ukazovaly cesty a silnice pouze v místech, odkud je vidět jen určitý daný počet VTE.

Označil jsem plošné území, odkud není vidět žádná VTE a data vyexportoval (*VTE_0).* Analogicky jsem pokračoval s dalšími plochami s určitou viditelností. Poté jsem použil funkci **Clip**. Vstupní vrstva byly komunikace a clip tvořila plocha

s určitou viditelností (*VTE_0)*. Výsledná vrstva *(komunikace_VTE0)* ukazuje jen část dopravní komunikace, která se nachází v místech, odkud není vidět žádná větrná elektrárna. Analogicky jsem postupoval s vrstvami *VTE_1*, *VTE_2*. Výsledné vrstvy dostaly název *komunikace_VTE1* a *komunikace_VTE2*. Každou vrstvu částečné dopravní komunikace bylo nutné sjednotit do jednoho polygonu. Použil jsem tedy EDITOR – MERGE. Veškeré polygony v atributové tabulce se sjednotily do jednoho.

Náhodné pozorovací body jsem rozmístil pomocí funkce **Create Random Points**. Důležité bylo nastavit správný počet bodů (viz výpočet z matematických vzorců). Jejich minimální vzdálenost ve viditelném úseku byla doporučená 0,5 km, případně nižší. Vstupní vrstvy jsem použil postupně *komunikace_VTE0, komunikace_VTE1* a *komunikace_VTE2*. V každé bodové vrstvě jsem přidal v atributové tabulce každému bodu identifikační číslo.

Pozorovací body odkud by měla být vidět pouze pata VTE jsem si vytvořil sám. Vytvořil jsem 4 kontrolní body (2 u silnice, 2 v terénu). Body odkud pata VTE vidět jsem netvořil, jelikož mi je nahrazují veškeré pozorovací body pro analýzu viditelnosti rotoru u obou VTE. Když nevidím rotor, nemohu vidět ani patu VTE.

5.2 Změna souřadnicového systému, formát GPX

Podstatné bylo změnit souřadnicový systém S_JTSK u vrstev znázorňujících pozorovací body. Souřadnicový systém S_JTSK není přijatelný pro většinu GPS, ale globální systém WGS_1984 ano. Turistické GPS nejsou schopné přijmout bodové vrstvy ve formátu SHP. Bodové vrstvy musely být exportovány do formátu GPX.

Změnu souřadnicového systému se provedla pomocí funkce **Project**. Vzniklé vrstvy se souřadnicovým systémem WGS_1984 byly sjednoceny pomocí funkce **Merge** a poté zkomprimovány do souboru s příponou .zip. Na webové stránce converter.mygeodata.eu/vector jsem postupoval podle návodu a bodovou vrstvu jsem exportoval do formátu GPX. Vrstva ve formátu GPX je přijatelná pro navigační přístroje GPS.

V softwaru MapSource, který je určen pro komunikaci GPS s počítačem, jsem nahrál soubor s pozorovacími body. Pomocí USB kabelu byly nahrané body v MapSource přetaženy do turistické GPS typu Oregon 300 outdoor.

6. TERÉNNÍ PRŮZKUM

V terénním průzkumu bylo zapotřebí zjistit viditelnost VTE v bodech z ArcMapu. Navigace k bodům byla prováděna pomocí GPS. Na kontrolu všech sto čtyřech bodů byly zapotřebí celé dva dny.

6.1 Sběr dat

Předem jsem si stanovil trasu, kterou autem objedu veškeré body. Vybral volné dva dny (17-18.3.), které měly vhodnou předpověď počasí. Během dvou dnů jsem stihl zkontrolovat všechny pozorovací body. Viditelnost byla výborná, pouze v sobotu byl ranní opar. Teplota se pohybovala cca 17°C ve stínu a až 30°C na slunci. K většině bodů se bylo možné dostat autem, avšak okolo 15 bodů bylo potřeba dosáhnout pěšky.

7. STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Statistické vyhodnocení shody výsledků digitální analýzy s výsledky terénního průzkumu jsem konzultoval s panem Ing. Vojtěchem Bartákem a pan RNDr. Vladimírem Pušem CSc. Pro výpočet pravděpodobnosti bezchybné digitální analýzy viditelnosti jsem postupoval jako při intervalovém odhadu parametru *p* u binomického rozdělení.

Vzorec pro výpočet intervalového odhadu:

$$(1 - B_{n-x+1,\, x(\alpha/2)} \,;\, B_{x+1,\, n-x(\alpha/2)})$$

kde:

n.....počet bodů (100)

x.....počet vyhovujících bodů (95)

α.....koeficient spolehlivosti (0,05)

$$(1 - B_{6,\, 95(0,025)} \,;\, B_{96,\, 5(0,025)})$$

Nyní podle tabulek *kritických hodnot beta rozdělení* (viz příloha č. 6, příloha č. 7). Koeficientům r a s přisoudím čísla, která mi vyšla v předchozím vzorci:

$$(1 - B_{r,\, s(\alpha/2)} \,;\, B_{r,\, s(\alpha/2)})$$

$$(1 - B_{6,\, 95(0{,}025)} \,;\, B_{96,\, 5(0{,}025)})$$

Po dosazení do vzorce vyšel interval spolehlivosti (viz VÝSLEDKY).

CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ

8. Krušné hory

Krušné hory patří mezi nejdelší pohoří ČR. Táhnou se dlouhým pásem cca 130 km, zasahují velkou částí i do území Německa. Toto pohoří bylo v minulosti velmi degradované imisemi. Avšak i přesto jsou místy zachovány přirozené biotopy (DAVID & SOUKUP 2002). Obrázek č. 19 ukazuje satelitní snímek studovaného území v Krušných horách.

8.1 Geologie

Vývoj kraje začal v prvohorách, kdy na tomto území bylo jen kopcovité pohoří z metamorfovaných hornin (např. rula, svor, filyt). Variské vrásnění změnilo krajinu na rozsáhlé horské území a k povrchu se dostaly hlubinné vyvřeliny, jako např. žuly a žulové porfyry. Tyto vyvřeliny na místech vystupují jako obnažená izolovaná skaliska (DAVID & SOUKUP 2002). Nejvýznamněji byly Krušné hory ovlivněny až třetihorní zlomovou tektonikou, kdy vznikly silné poklesy na jihovýchodní straně pohoří **(**DAVID & SOUKUP 2001). Nejvýznamnější zlom se nazývá krušnohorský a je směru jihozápad-severovýchod. Krušné hory patří do typu kerného pohoří. Horniny jsou bohaté na kovonosné rudy. Obsahují měď, cín, železo, stříbro, olovo, nikl, wolfram, lithium a uran. V příkopových propadlinách se nachází ložiska hnědého uhlí (Sokolovská a Mostecká pánev), ale též mohutné vrstvy kaolínu.
V nadloží uhelných slojí se mezi jíly vyskytují i ostrůvky hrubozrnných slepenců či pískovců, vzniklých z naplavenin, a odkrytých díky horotvorným procesům (DAVID & SOUKUP 2002).

Z hlediska geomorfologického členění spadá území do krušnohorského podcelku **Loučenská hornatina** a podrobněji do okrsku Novoveská hornatina (DEMEK & kol.).

8.2 Pedologie

Orné půdy je v Krušných horách malé množství, obsahuje málo výživných látek a blíží se půdám skeletovému typu. Ostatní typy půd jsou podzolové, vyloužené nebo proplachované dešťovou vodou. Celkově se dají popsat půdy v Krušných horách jako kyselé **(**DAVID & SOUKUP 2001).

8.3 Podnebí

Krušné hory jsou celkově otevřeny na sever, a tak je podnebí drsnější. Vyskytují se zde prudké bouře se silnými větry a to nejčastěji na podzim a v zimě. Léto bývá krátké, ale zato teplé. Směrem k pánvím (př. Mostecká) bývá celkově tepleji. Průměrné teploty ve výšce 900 m.n.m. jsou okolo 4 °C, v 1200 m.n.m. již okolo 2,5 °C. Zima bývá dlouhá a s vytrvalými sněhovými přeháňkami. Sníh v Krušných horách bývá cca 100 dnů v roce, ve výšce 1200 m.n.m. až 214 dní.

Vítr převládá severní a západní. Větry jsou studené a vlhké, způsobují dlouhé zimní mlhy a rychlou změnu počasí. Úhrn srážek odpovídá nadmořské výšce, tj. zhruba 1000 – 1200 mm srážek za rok. Krušné hory způsobují tzv. srážkový stín. V podkrušnohorských pánvích jižně od pohoří tak ročně spadne cca 500 mm srážek **(**DAVID & SOUKUP 2001).

8.4 Flóra

8.4.1 Stromy

Původní zcela přírodní lesy byly smíšeného charakteru s pralesovitým rázem. Avšak od středověku se soustavně kácely v souvislosti s těžbou a zpracováním rud. Na holinách z těžby postupně vznikaly smrkové monokultury. V 20. stol. průmyslové imise, hmyzí škůdci, vichřice a námraza dokázali silně poškodit většinu smrkových porostů. Vzniklé holiny se v poslední době systematicky zalesňují odolnějšími dřevinami – bříza, modřín a hlavně smrk pichlavý *(Picea pungens).* Také se vysazuje jeřáb či buk lesní *(Fagus silvatica).* (DAVID & SOUKUP 2002).

REMEŠ & kol. (2002) uvádí několik důvodů výsadby smrku pichlavého v Krušných horách. Smrk pichlavý velmi rezistentní k přímému poškození oxidem siřičitým. Dále má dřevina „pionýrský charakter“. Je schopná se udržet na půdách, které byly poškozeny těžkou mechanizací při odklízení poškozených smrků. Udržuje se i v zamokřených půdách. Další výhoda je snadné pěstování sazenic tohoto smrku a odolnost vůči poškozování zvěří. Hospodářská výtěžnost smrku je však nižší než u jiných smrků (DAVID & SOUKUP 2002). Dřevo smrku pichlavého je těžko využitelné. Navíc neplní téměř žádné ekologické funkce – půdoochranná funkce je

malá, půdotvorná dokonce spíše negativní. Jeho čisté porosty téměř neovlivňují složky vodního koloběhu. Vysazování smrku pichlavého byla spíše chyba (REMEŠ & kol. 2002).

8.4.2 Vegetace v podrostu

Jelikož jsou v Krušných horách kyselé půdy, je vegetace v podrostu poměrně málo pestrá a chudá. V zachovalých porostech smrku ztepilého *(Picea abies)* se vyskytuje brusnice borůvka *(Vaccinium myrtillus)* a různé druhy kapradin. Na světlinách roste např. třtina chloupkatá *(Calamagrostis villosa)*, ve stinných místech sedmikvítek evropský *(Trientalis europaea)*, podbělice alpská *(Homogyne alpina)* a chráněný mléčivec alpský *(Cicerbita alpina)*. Ve vyšších nadmořských výškách na horských plošinách se rozkládají rašeliniště. Do typické flóry zde spadá např. vrba borůvkolistá *(Salix myrtilloides)*, borovice bažinná (blatka) *(Pinus rotundata)*, přeslička říční *(Equisetum fluviatile)*, rosnatka okrouhlolistá *(Drosera rotundifolia)*, klikva žoravina *(Vaccinium oxycoccus)*, tučnice obecná *(Pinguicula vulgaris)*, suchopýr úzkolistý *(Eriophorum angustifolium)* aj. Na sušších místech, zejména na pravidelně kosených loukách, se vyskytuje prha arnika *(Arnica montana)*, zvonečník černý *(Phyteuma nigrum)* a mrkvovitá rostlina koprník štětinatý *(Meum athamanthicum)*. Údolí potoků a místa po těžbě (odvaly, pinky apod.) jsou ideální pro výskyt primitivních výtrusných rostlin – plavuně a kapradiny (DAVID & SOUKUP 2002).

8.5 Fauna

Zvířena je zde vzhledem k imisím ještě poměrně pestrá. V lesích žije ze savců prase divoké *(Sus scrofa)*, jelen lesní *(Cervus elaphus)* a místy i daněk evropský *(Dama dama)*. Dále se zde vyskytuje srnec obecný *(Capreolus capreolus)*, králík divoký *(Oryctolagus cuniculus)*, kuna skalní *(Martes foina)*, liška obecná *(Vulpes vulpes)*. Z ptáků zde hnízdí káně lesní *(Buteo buteo)*, poštolka obecná *(Falco tinnunculus)*, méně pak jestřáb lesní *(Accipiter gentilis)* či krahujec obecný *(Accipiter nisus)*. Ve vyšších polohách žije např. tetřívek obecný *(Tetrao tetrix)*, křivka obecná *(Loxia curvirostra)*, ořešník kropenatý *(Nucifraga caryocatactes)*, hýl obecný *(Pyrrhula pyrrhula)*, datel černý *(Dryocopus martius)*, linduška lesní *(Anthus trivialis)*, kulíšek nejmenší *(Glaucidium passerinum)*, sýc rousný *(Aegolius funereus)* a výr velký *(Bubo bubo)*. Ve vlhkých podrostech se pravidelně vyskytuje červenka obecná *(Erithacus rubecula)*, pěvuška modrá *(Prunella modularis)*, sluka lesní *(Scolopax rusticola)*. Na loukách žijí cvrčilka zelená *(Locustella naevia)*, bramborníček hnědý *(Saxicola rubetra)*, vzácněji pak hrdlička divoká *(Streptopelia turtur)*, bekasina otavní *(Gallinago gallinago)* a ťuhýk šedý *(Lanius excubitor)*. U horských potoků se vyskytuje konipas horský *(Motacilla cinerea)* a skorec vodní *(Cinclus cinclus)*. Nejhojnějším hadem je zde zmije obecná *(Vipera berus)* (DAVID & SOUKUP 2002).

8.6 Ochrana přírody

V důsledku dlouhodobého poškozování Krušných hor člověkem zde nebyl vyhlášen žádná chráněná krajinná oblast či národní park. Existuje tu alespoň řada přírodních parků, převážně rašeliniště – např. Božídarské, Novodomské, Pod Jelení horou, Novoveské, Malé a Velké Jeřábí jezero, Černý rybník aj. (DAVID & SOUKUP 2002). Právě Černý rybník se nachází cca 2 km od obce Klíny. Rašeliniště zde má rozlohu 17 ha a mocnost rašeliny je 1,7 až 7 m. Samotná rozloha rybníka činí 1,08 ha. Rybník byl původně založen za účelem chovu pstruhů. Svědčí o tom německý název Forellenteich (Pstruhový rybník). Z rybníku pramení řeka Svícnice, která tvoří část německého pohraničí (cca 17 km) a ústí do Flájského potoka. V severní části rezervace je významné tokaniště tetřívka obecného. (KUNCOVÁ 1999).

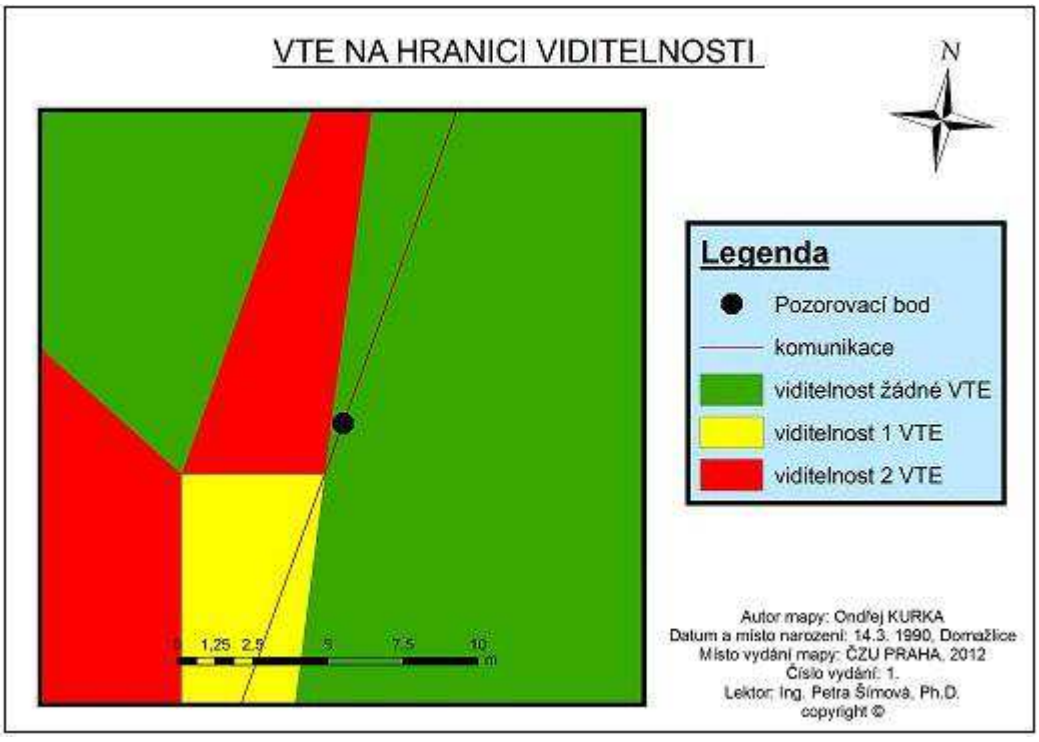
VÝSLEDKY

Výsledky z terénního průzkumu

Porovnání výsledků dosažených v terénu s výsledky dosažených v softwaru ArcMap bylo velmi jednoznačné. Při průzkumu viditelnosti rotoru v terénu se 95 ze 100 bodů shodovalo s výsledkem digitální analýzy viditelnosti v ArcMap. Viditelnost na bodech, které se neshodovaly s digitální analýzou (označme je za negativní body), byla ovlivněna pokaždé vzrostlými stromy. Tři negativní body se nacházely v okruhu 1,6 km, ale nebyly u sebe významně nahloučeny. Na místě dvou negativních bodů neměla být vidět žádná VTE, avšak byly vidět obě VTE. Na zbylých třech negativních bodech měly být vidět obě VTE, ale nebyla vidět žádná VTE. Tři negativní body z pěti se nacházely téměř na hranici území s rozdílnou viditelností (0,2 – 2,1 m) - například bod č. 51 viz obr. č. 6.

Viditelnost VTE ze dvou bodů byla omezena pouze zástavbou. Jelikož v analýze viditelnosti nebyla brána v potaz výška zástavby, nepočítal jsem tedy se zástavbou i v terénu, a tak byly body vyhodnoceny jako kladné (tj. souhlasné s digitální analýzou viditelnosti). Během průzkumu docházelo i k souhlasné viditelnosti jedné či dvou VTE i v místě zástavby. Zástavba v těchto místech byla totiž řídká nebo s širokými průhledy. Tabulka pozorovacích bodů s podrobnostmi se nachází v příloze č. 5.

obr. č. 6 – Pozorovací bod č. 51 na hranici viditelnosti



Zdroj: autorovo zpracování 2012

U kontroly viditelnosti paty VTE (té více na severu) se viditelnost všech čtyř bodů v terénu shodovala s viditelností všech čtyř bodů v softwaru ArcMap. Pata VTE byla viditelná z celé louky, kde se VTE nacházela.

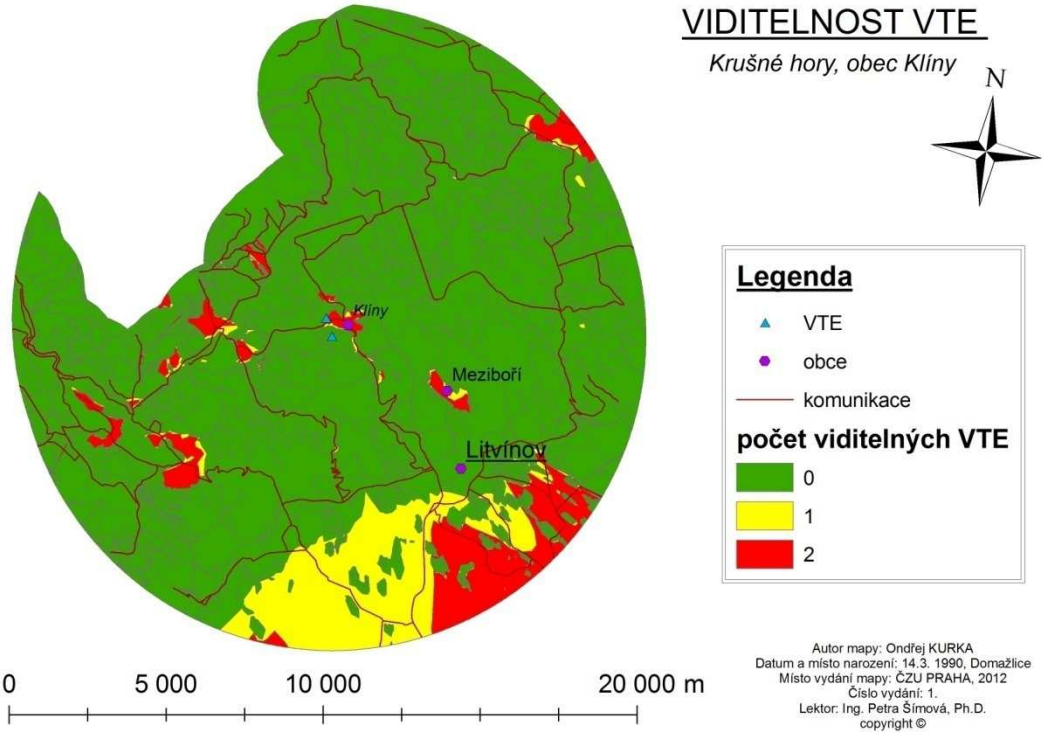
Metoda pro výpočet intervalu spolehlivosti byla na principu intervalového odhadu parametru *p* u binomického rozdělení. Výsledný intervalový odhad neboli interval spolehlivosti vyšel po dosazení do vzorce **(0,89 ; 0,98)**. To znamená, že analýza viditelnosti pomocí ArcMap od ESRI je úspěšná někde mezi 89 až 98%. Toto tvrzení je platné s 95% spolehlivostí. Takže existuje ještě 5% (α=0,05) možnost, že jsem se mýlil a ArcMap není úspěšný v intervalu, který jsem spočetl.

Mapové výstupy

Další výsledky digitální analýzy viditelnosti jsou mapové výstupy. Všechny výstupy se vztahují k zájmovému území v Krušných horách na Mostecku poblíž města Litvínov v okolí obce Klíny:

- **Viditelnost VTE**. Layout je jeden z hlavních výsledků mé práce. Mapa ukazuje viditelnost VTE v okruhu 10 km. Z 85 % území nelze vidět žádnou VTE. Z 9 % území je vidět 1 VTE a z 6 % území jsou vidět 2 VTE. Jedním z důvodů nízké viditelnosti VTE je velké množství lesů, které brání výhledům (obr. č. 17). Layout ukazuje komunikační síť cest a silnic, po které byly náhodně rozmístěny pozorovací body. Jedná se většinou o silnice III. třídy nebo polní cesty.

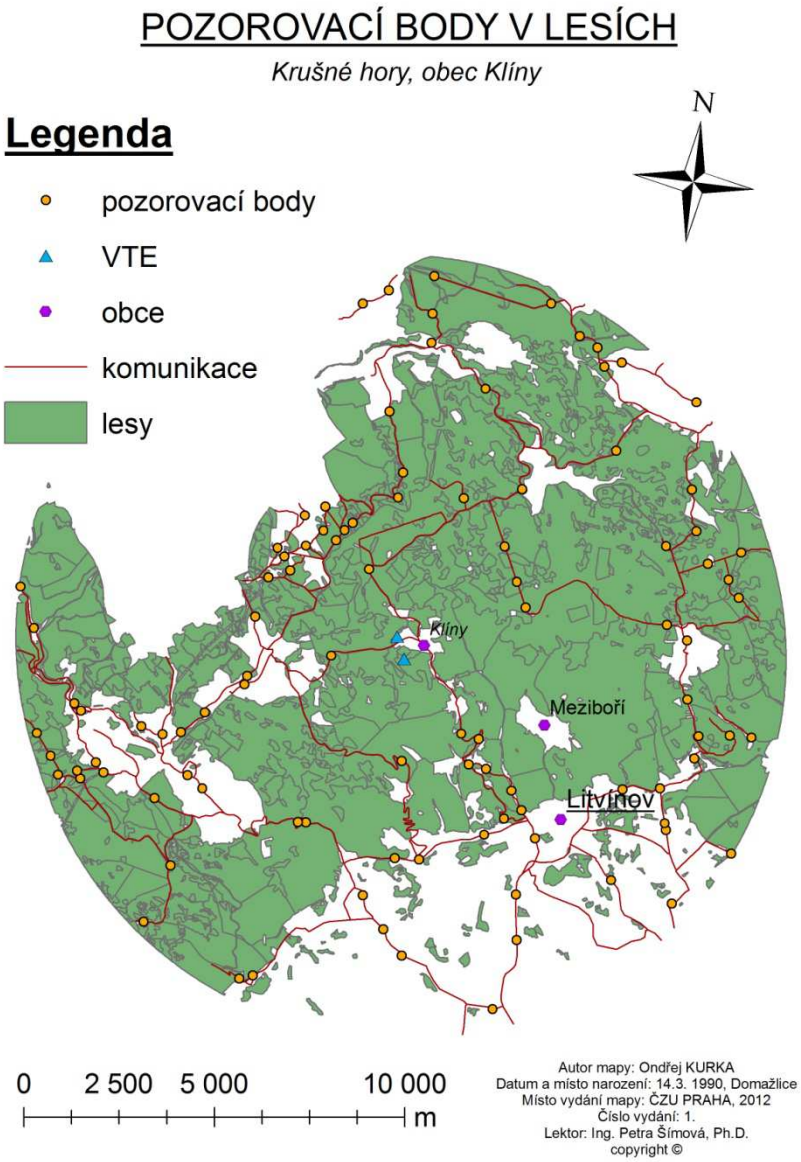
Obr. č. 17 – Viditelnost VTE



Zdroj: autorovo zpracování 2012

- **<u>Pozorovací body v lesích</u>** (obr. č. 18). Většina území v okolí 10 km od obce Klíny je zalesněno. Velké množství pozorovacích bodů se nacházelo na lesních silnicích nebo cestách. Pozorovací body jsou relativně rovnoměrně rozmístěny po cestní síti.

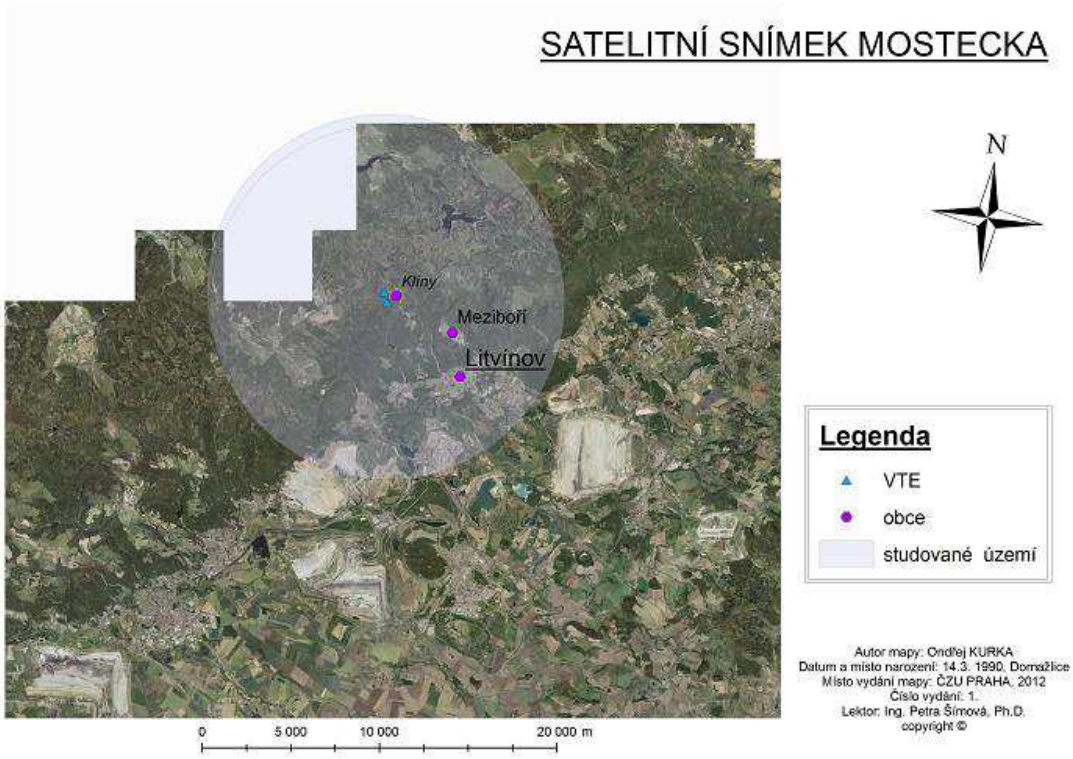
obr. č. 18 – Pozorovací body v lesích



Zdroj: autorovo zpracování 2012

- **<u>Satelitní snímek Mostecka</u>** (obr. č. 19). Satelitní snímek ukazuje charakter zdejší krajiny – uhelné doly jižně od Litvínova a výrazné zastoupení lesů na hřebenech hor. Při porovnání s přílohou č. 2 je vidět, že území s největší viditelnosti se nachází v oblasti Litvínova pod horami, kde nejsou žádné lesy. Část okruhu do 10 km zasahuje i do Německa.

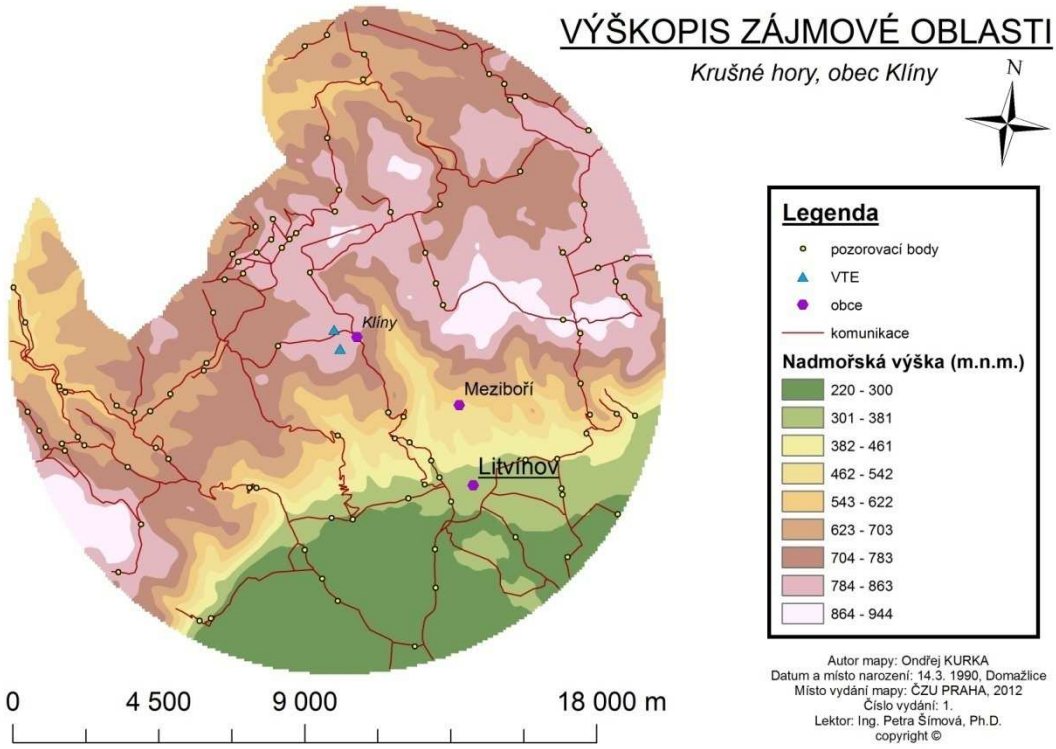
obr. č. 19 – Satelitní snímek Mostecka



Zdroj: autorovo zpracování 2012

- **<u>Výškopis zájmové oblasti</u>** (obrázek č. 20). Layout je tvořen digitálním modelem terénu, který popisuje průběh nadmořské výšky terénu. Litvínov a území směrem na jih se nachází v Mostecké pánvi a výška v této oblasti se pohybuje pod 350 m.n.m. Ve stejných místech jsou jedna nebo dvě VTE viditelné, jelikož se nachází na vyvýšeném území s přímým výhledem. Zbytek celé zájmové oblasti se rozkládá na horách a pahorcích, které jsou z velké části pokryté lesy (obr. č. 18)

obr. č. 20 – Výškopis zájmové oblasti



Zdroj: autorovo zpracování 2012

- **<u>Souhrnný popis zájmové oblasti</u>** (příloha č. 2). Mapa ukazuje základní informace a výsledky této práce. Negativní pozorovací body značí místa v terénu, kde viditelnost nesouhlasila s výsledkem získaným v digitální analýze viditelnosti. Kladné pozorovací body značí místa, kde viditelnost souhlasila s analýzou viditelnosti. Na mapě jsou vyznačeny lesy, komunikace, VTE Klíny a důležité obce. Pozorovací body jsou očíslovány a podrobnosti k nim se nalézají v příloze č. 5.

DISKUZE

Možné příčiny chyb v digitální analýze viditelnosti

Do procesů v ArcMap vstupovala různá data, která nemusela vždy souhlasit s realitou. Lesy v Krušných horách již mohly změnit svůj charakter a nemusely souhlasit s datovou vrstvou, která je reprezentuje. Lesy mohly být např. vykáceny nebo pozměněny probírkou. Rázem by se změnily možnosti viditelnosti. Takže mnou zjištěná věrohodnost analýzy viditelnosti hodnotila převážně věrohodnost vstupujících dat do analýzy. Výzkum tedy hodnotil převážně vstupní data, jejich věrohodnost a aktuálnost.

Při provádění digitální analýzy viditelnosti byly jisté číselné údaje odhadnuty na základě popisných informací (výška „vzrostlého lesa“ odhadnuta na cca 20 m – viz kapitola 4.2 Tvorba DTM). Tento faktor byl zásadní pro celou digitální analýzu viditelnosti. Ale počet kladných pozorovacích bodů z 95% převyšoval počet negativních pozorovacích bodů, a tedy můj subjektivní odhad výšky stromů byl relativně správný.

Ve své studii jsem nebral v úvahu výšku zástavby. V zájmovém území byly významné obce Meziboří a Litvínov. Ve dvou případech zakrývala výhled na VTE budova, ale v těsné blízkosti již byla opět viditelná skrz průhled mezi budovami. Tyto obce byly svou zástavbou spíše prořídlé a prostory byly téměř vždy otevřené (kromě sídlišť). Zanedbat při digitální analýze viditelnosti výškovou konstantu u plošné zástavby nemělo v této práci žádné vážné důsledky.

Při analýze viditelnosti došlo k převodu rastrové vrstvy (znázorňující viditelnost VTE) na vektorovou (viz kapitola 4.4 Viditelnost rotoru VTE). Tento krok pozměnil hranice jednotlivých území s různou viditelností. ArcMap změnil ostré hranaté hranice rastru v relativně více zaoblené hranice u vektorové vrstvy. Tato změna mohla posunout hranice o cca 5 – 20m, avšak tato malá vzdálenost neměla vliv na výsledek práce. Pozorovacích bodů poblíž hranic území s různou viditelností bylo jen několik.

Terénní průzkum byl závislý na přesnosti GPS přístroje. Turistické přístroje jsou relativně přesné. Záleží na výrobci a pořizovací ceně. V mé studii jsem pracoval s outdoor GPS Oregon 300 od firmy Garmin. Oregon 300 je turistická GPS s přesností do 3 m na otevřeném prostranství a okolo 10 - 15 m v uzavřeném prostranství (GARMIN 2012). Tyto faktory mohly ovlivnit terénní kontrolu a tím i výsledky celé práce, ale určitě ne zásadním způsobem.

Možnosti dokonalejšího vyhodnocení aktuálnosti vstupních dat

Jak je zmíněno výše, statistickým vyhodnocením výsledků celé práce bylo zjištění věrohodnosti převážně vstupních dat. Terénní průzkum by tedy mohl být zaměřen

více na ověřování vstupních dat. Výsledkem by bylo přesnější zjištění aktuálnosti vstupních dat a tím by byla věrohodnější i celá digitální analýza viditelnosti.

V této práci byly body rovnoměrně rozmístěny po ploše zájmového území. Některé pozorovací body byly rozmístěny v částech, odkud VTE nebyla vidět jen na základě zemského reliéfu (bez pokryvu). Za předpokladu, že výškové údaje z vrstevnic byla pravdivá, kontrola z těchto míst byla zbytečná. Pokud by pozorovací body byly rozmístěny jen na území, odkud VTE je vidět na základě zemského reliéfu, o její skutečné viditelnosti už by rozhodoval nejen zemský reliéf, ale i terénní pokryv. Kontrola vstupních dat by tak byla přesnější.

Analogicky by se z kontroly mohlo vynechat i území, odkud jsou VTE vidět na základě zemského reliéfu a zároveň ve viditelnosti nemůže zabránit terénní pokryv s limitní výškou. V případě krušnohorských lesů by výškový limit byl max. 30 m.

Zdokonalení analýzy (nejen) viditelnosti

Ke zdokonalování dalších prací o analýze viditelnosti by mohlo přispět hodnocení kulturní, společenské a přírodní hodnotě jednotlivých území, z kterých je možné výškovou stavbu (např. VTE) vidět. Frekventovaná turistická trasa bude mít jistě mnohem větší váhu a důležitost, než velké louky, kde se projde minimum lidí ročně. Vážená hodnota území bude záležet na kulturní, společenské a přírodní hodnotě pro Českou republiku, popř. globálně pro lidstvo. Konzultace s okolními obcemi, které jsou zasaženy viditelností VTE, jsou také důležité pro hodnocení. Jsou známy případy, kdy sousední obce nebyly spokojeny s výstavbou, a ohrozily stavbu VTE již v pokročilém stádiu výstavby (ŠTASTNÁ 2007).

RODMAN & MEENTEMEYER (2006) ve své studii brali v úvahu váhu jednotlivých území. Ale neváželi jen možná viditelná území, ale jakékoliv faktory ovlivňující výstavbu VTE (větrné podmínky, blízkost zástavby, chráněná území, vliv vegetace apod.). Všechny tyto faktory poté vyhodnotily pomocí GIS s nástavbou Spatial Analysis. Výsledkem bylo vyhledání nejvhodnějších míst pro stavbu VTE z celé zájmové oblasti.

AYDIN & kol. (2010) ve své studii prováděli také multi-analýzu zaměřenou na vhodnou lokalizaci VTE. Autoři podotýkají, že stejný princip se obecně může uplatnit při hledání optimálních míst pro výstavbu solárních panelů, bioplynových a geotermálních stanic.

GIS mají velký potenciál pro výpočet vhodných lokalit pro stavbu VTE. GIS mohou vyhodnotit jednotlivé faktory (území s vhodnými větrnými podmínkami, chráněná území, oblasti blízko zástavby) a vygenerovat území vhodná nebo nevhodná pro výstavbu. Do budoucna by v GIS mělo být započítáno i mínění místních obyvatel a dotčených subjektů a to prostřednictvím zvýšené komunikace a umělou vizualizací (CHRISTIDIS & LAW 2012).

Lze tuto analýzu viditelnosti snadno aplikovat pro výstavbu VTE?

Vytvořené mapy viditelnosti nemohou sloužit jako dostačující podklad pro argumentaci (ne)poškození krajinného rázu při výstavbě VTE. Další krok je např. fotografická vizualizace VTE, která simuluje reálný pohled a zasazení VTE v krajině.

Důležitý je také vliv z hlediska vizuálního narušení na jednotlivé historické památky či významné krajinné prvky (VKP). Bylo by tedy vhodné brát v potaz ještě význam památek a VKP apod., popř. je zapracovat do analýzy. Je mnohem lepší, když bude vidět VTE na více místech, kde nikomu nevadí, než na málo místech, kde ji lidé rádi neuvidí. Určitě by nebylo vhodné vystavět VTE kousek od hradu Karlštejn, byť by tam byly velmi výhodné větrné podmínky

Válka mezi dvěma tábory

Na jedné straně stojí obce a investoři, kteří chtějí dobře investovat své peníze, a na druhé straně jsou odborní úředníci a ekologové, popř. nespokojené sousední obce. A mezi těmito „tábory“ je (mimo jiné) neucelená legislativa a subjektivní krajinný ráz. Investor si osobně vybírá zpracovatele dokumentaci EIA (KUNDRATA 2007). To může vypadat značně nedůvěřivě. Obce se staví k výstavbě VTE na jejich území velmi kladně. Investor jim totiž vyplácí roční dotace. Obec Klíny dostává ročně 400 000 Kč. Stejná částka je pro ně roční rozpočet od státu (Jiří Herzig, III. 2012, in verb.). Okolní obce naopak mohou být proti. Dotace nedostávají, a tak si zpravidla stěžují na zhoršení krajinného rázu (LINHARTOVÁ 2007).

.

ZÁVĚR

Dle výsledků mé práce mohu tvrdit, digitální analýza viditelnosti VTE Klíny v softwaru ArcMap je velmi přesná. Vstupní data jsou dostatečně věrohodná a digitální analýza viditelnosti je schopná dostatečně nahradit časově náročnou terénní obchůzku. Tento závěr nelze zobecnit. Bylo by potřeba provést další studie v jiných oblastech, která by potvrdila všeobecnou věrohodnost běžně dostupných geodat pro digitální analýzy viditelnosti.

Cíle práce jsem splnil a hodnotím je jako vhodný startovní bod pro další práce a studie, které by potvrzovaly nejen opravdovost analýz viditelnosti, ale i její možnosti aplikace v reálných situacích (posudky EIA apod.).

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

AL-SHEMMERI V., 2010: Wind Turbines. Ventus Publishing ApS, http://bookboon.com/en/textbooks/chemistry-chemical-engineering/wind-turbines, cit. 10.4.2012.

AYDIN Y. N., KENTEL E., DUZGUN S., 2010: GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 364‑373.

BEJČEK V., ŠŤASTNÝ K., VOLF O., 2007: Tetřívek obecný a větrné elektrárny – otázka priorit. Svět myslivosti 6: 12 – 13.

BUČEK A., 2007: Větrné elektrárny a jihomoravská venkovská krajina. In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 13 – 14.

CULEK M., 2007: Větrné elektrárny – pokračující industrializace naší krajiny. In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 15 – 16.

ČEZ, 2012: Fungování větrných elektráren, České energetické závody, Praha, online: http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/vitr/flash-model-jak-funguje-vetrna-elektrarna.html, cit. 27.4.2012.

ČSVE, 2011: Vítr – Energie budoucnosti. ČSVE, Brno: 32 s.

ČÚZK, 2012: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Zdiby, online, http://www.vugtk.cz/, cit. 29.3.2012.

DEMEK J., MACKOVČIN P., BALATKA B., BUČEK A., CIBULKOVÁ P., CULEK M., ČERMÁK P., DOBIÁŠ D., HAVLÍČEK M., HRÁDEK M., KIRCHNER K., LACINA J., PÁNEK T., SLAVÍK P., VAŠÁTKO J., 2006: Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. MŽP, Brno: 582 s.

DRECHSLER M., OHL C., MEYERHOFF U., EICHHORN M., MONSEES J., 2011: Combining spatial modeling and choice experiments for the optimal spatial allocation of wind turbines. Energy Policy 39: 3845–3854.

EKONOM, 2012: Větrnou elektrárnou může být i vzducholoď. EKONOM 17: 23.

ENERCON, 2012: Ringgenerator. ENERCON s.r.o., online, http://www.enercon.de/de-de/ringgenerator.htm, cit. 28.3.2012.

FRÝZA L., 2010: Využití větru jako alternativního pohonu k výrobě elektrického proudu. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín: 53 s.

FOJTÍKOVÁ J., 2008: Větrné elektrárny. Masarykova univerzita, Brno: 86 s.

GAISLER J., 2007: Problematika kolizí netopýrů s větrnými elektrárnami v Americe a Evropě. In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 20 – 22.

GARMIN, 2012: OREGON 300, online, http://www.garmin.cz/produkty/ostatni/jiz-nevyrabene/jiz-nevyrabene-pristroje/nevyrabene-outdoor/oregon-300.html, cit. 27.4.2012.

HANSLIAN D., 2007: Klimatický potenciál větrné energetiky. In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 23 – 24.

HENGL T., GRUBER S., SHRESTHA D. P., 2003: Digital Terrain Analysis in ILWIS. Lecture notes and user guide, online, https://www.itc.nl/library/Papers_2003/misca/hengl_digital.pdf, cit. 28.4.2012.

CHRISTIDIS T., LAW J., 2012: The use of geographic information systems in wind turbine and wind energy research, online, http://jrse.aip.org/resource/1/jrsebh/v4/i1/p012701_s1?isAuthorized=no, cit. 29.4.2012.

KADLČÍKOVÁ J., 2007: DMR a jeho vizualizace. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, online, http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Referaty/Sekce7/Kadlcikova_GIS-Ostrava07.pdf, cit. 18.3.2012.

KIRCHNER K., VOŽENÍLEK V., KONEČNÝ M., PETROVÁ A., ROTHOVÁ H., 2001: Intergrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. Vydavatelství UP, Olomouc: 185 s.

KOLÁŘ J., 1997: Geografické informační systémy 10. ČVUT, Praha: 149 s.

KUNCOVÁ J., 1999: Chráněná území ČR, Ústecko. Agentura ochrany přírody a krajiny, Pardubice: 348 s.

KUNDRATA M., 2007: Na úvod. In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 5.

LAPČÍK V., 2008: Posuzování vlivů větrných elektráren na životní prostředí v České republice. Acta Montanistica Slovaca 13/3: 381 – 386.

LINHARTOVÁ P., 2007: Zkušenosti s hodnocením krajinného rázu pro záměry výstavby a provozu v jihomoravském kraji. In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 27.

MAYER P., 1995: Počítačové modelování krajiny. ČVUT, Praha: 109 s.

MOLNÁROVÁ K., SKLENIČKA P., STIBOREK J., SVOBODOVÁ K., ŠÁLEK M., BRABEC E., 2012: Visual preferences for wind turbines: Location, numbers and respondent characteristics. Applied Energy 92: 269 – 278.

MURDYCH Z., NOVÁK V., 1988: Kartografie a topografie. Státní pedagogické nakladatelství, Praha: 320 s.

NONDEK L., 2007: Větrná energetika a český venkov. In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 28 – 33.

OBST P., OBSTOVÁ Z., 2010: Větrné elektrárny v lokalitě Vlčkovice-Kostelní Vrch, online, http://www.kraliky.eu/data/ext-3155.pdf, cit. 27.4.2012.

POPELKA W., VOŽENÍLEK V., 2010: Landscape visibility analysis and their visualisation, online, http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-W13/ID_67.pdf, cit. 29.4.2012.

PROCHÁZKA J., 2007: OZE – Problematika větrných elektráren v České republice a specificky v jihomoravském kraji. In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 35 – 38.

REMEŠ J., PODRÁZSKÝ V. V., ULBRICHOVÁ I., 2002: Ekologické nároky a struktura přirozených lesů některých introdukovaných dřevin. In: ČZU – FLD: Krajina, les a lesní hospodářství. Praha: 52 – 57.

RODMAN C. L., MEENTEMEYER K. R., 2006: A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California, Energy Policy 34: 2137–2149.

RYCHETNÍK V., 1997: Větrné motory a elektrárny. ČVUT, Praha: 199 s.

RYVOLOVÁ I. & ZEMPLINEROVÁ A., 2010: Ekonomie obnovitelných zdrojů energie – příklad větrné energie v České republice. Politická ekonomie 6: 824 – 826.

SKLENIČKA P., 2006a: Větrník na každém kopci. Ochrana přírody 07: 193 – 194.

SKLENIČKA, P. 2006b: Vliv větrných elektráren na krajinný ráz: principy hodnocení. EIA – IPPC - SEA 3: 11 - 13.

SKLENIČKA P., 2007: Kdy větrné elektrárny škodí a kdy jsou prospěšné? In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 39 – 41.

SKLENIČKA P., 2011: Pronajatá krajina. Centrum pro krajinu, Praha: 137 s.

SKLENIČKA P., VOREL I., 2009: Metodický návod k vyhodnocení možností umístění větrných a fotovoltaických elektráren z hlediska ochrany přírody a krajiny. Věstník MŽP 11/2009: 1 – 12.

SOUKUP V., DAVID P., 2002: Krušné hory. S & D, Praha: 157 s.

SOUKUP V., DAVID P., 2001: Krušné hory – východ. S & D, Praha: 128 s.

ŠŤASTNÁ I., 2007: Konkrétní problémy při povolování větrných parků. In: VERONICA & Český svaz ochránců přírody: Větrné elektrárny v jihomoravském kraji. Brno: 50 – 53.

TUČEK J., 1998: Geografické informační systémy. Computer Press, Praha: 415 s.

URBAN J., 1991: Digitální model terénu. ČVUT, Praha: 59 s.

VOŽENÍLEK V., 2005: Cartography for GIS. Vydavatelství UP, Olomouc: 140 s.

YAN LI & LIANHE YANG, 2009: Based on Delaunay Triangulation DEM of Terrain Model. Computer and Information Science 2/2: 137 – 140.

Zákon č. 114 / 1992 Sb., O ochraně přírody a krajiny, v platném znění.

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ, FOTOGRAFIÍ

foto č. 1 - VTE od firmy ENERCON. Vztlakový princip VTE

foto č. 2 – VTE s horkovzdušným balónem

foto č. 3 – Fotosimulace různě vzdálených VTE

obr. č. 1 - Rotor typu Savonius

obr. č. 2 – Gondola jako součást VTE

obr. č. 3 – Princip otáčení listů u VTE

obr. č. 4 – Finanční rozdělení VTE na jednotlivé části procesu výroby a recyklace

obr. č. 5 – Srovnání výkupních cen elektrické energie z OZE

obr. č. 6 - Pozorovací bod č. 51 na hranici viditelnosti

obr. č. 7 – Mapa větrných podmínek v ČR

obr. č. 8 – Polyedrický model

obr. č. 9 – Polyedrický model v 3D zobrazení

obr. č. 10 – Plátový model

obr. č. 11 – Plátový model v 3D zobrazení

obr. č. 12 – Rastrový model

obr. č. 13 – Zborcený čtyřúhelník

obr. č. 17 – Viditelnost VTE

obr. č. 18 – Pozorovací body v lesích

obr. č. 19 – Satelitní snímek Mostecka

obr. č. 20 – Výškopis zájmové oblasti

SEZNAM PŘÍLOH

příloha č. 1 – Údaje o využití větrné energie v Evropě koncem roku 2011

příloha č. 2 – Souhrnný popis zájmové oblasti

příloha č. 3 – Popis moderní VTE s vztlakovým principem

příloha č. 4 – VTE Enercon E 70 – 2,0 MW (dohromady 4,0 MW) u obce Klíny

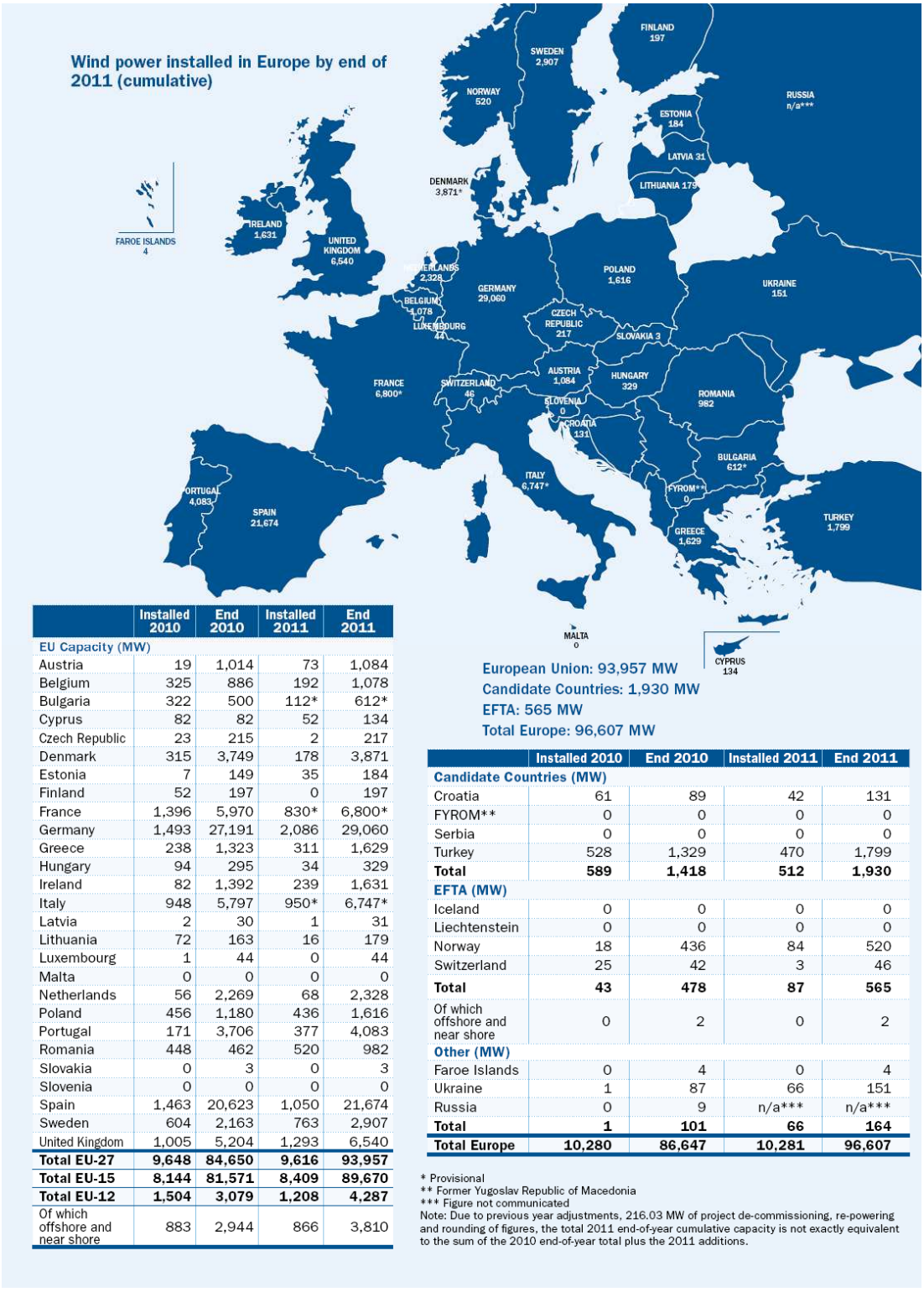
příloha č. 5 – Konkrétní analýza jednotlivých pozorovacích bodů (č. bodů = ID v atributové tabulce)

příloha č. 6 – Tabulka kritických hodnot beta rozdělení (část č. 1)

příloha č. 7 – Tabulka kritických hodnot beta rozdělení (část č. 2)

PŘÍLOHY

příloha č. 1 – Údaje o využití větrné energie v Evropě koncem roku 2011



European Union: 93,957 MW
Candidate Countries: 1,930 MW
EFTA: 565 MW
Total Europe: 96,607 MW

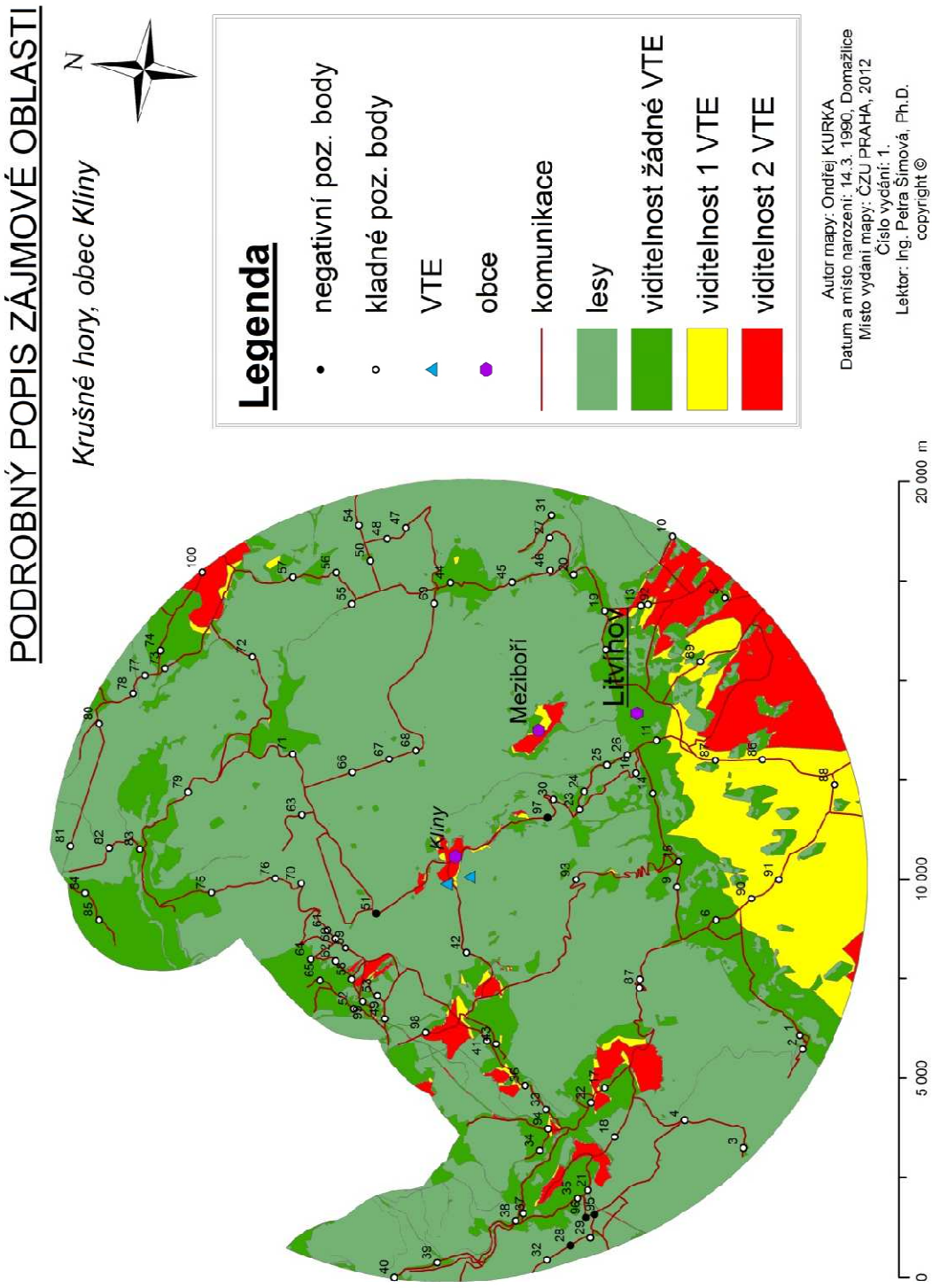
	Installed 2010	End 2010	Installed 2011	End 2011
EU Capacity (MW)				
Austria	19	1,014	73	1,084
Belgium	325	886	192	1,078
Bulgaria	322	500	112*	612*
Cyprus	82	82	52	134
Czech Republic	23	215	2	217
Denmark	315	3,749	178	3,871
Estonia	7	149	35	184
Finland	52	197	0	197
France	1,396	5,970	830*	6,800*
Germany	1,493	27,191	2,086	29,060
Greece	238	1,323	311	1,629
Hungary	94	295	34	329
Ireland	82	1,392	239	1,631
Italy	948	5,797	950*	6,747*
Latvia	2	30	1	31
Lithuania	72	163	16	179
Luxembourg	1	44	0	44
Malta	0	0	0	0
Netherlands	56	2,269	68	2,328
Poland	456	1,180	436	1,616
Portugal	171	3,706	377	4,083
Romania	448	462	520	982
Slovakia	0	3	0	3
Slovenia	0	0	0	0
Spain	1,463	20,623	1,050	21,674
Sweden	604	2,163	763	2,907
United Kingdom	1,005	5,204	1,293	6,540
Total EU-27	**9,648**	**84,650**	**9,616**	**93,957**
Total EU-15	**8,144**	**81,571**	**8,409**	**89,670**
Total EU-12	**1,504**	**3,079**	**1,208**	**4,287**
Of which offshore and near shore	883	2,944	866	3,810

	Installed 2010	End 2010	Installed 2011	End 2011
Candidate Countries (MW)				
Croatia	61	89	42	131
FYROM**	0	0	0	0
Serbia	0	0	0	0
Turkey	528	1,329	470	1,799
Total	**589**	**1,418**	**512**	**1,930**
EFTA (MW)				
Iceland	0	0	0	0
Liechtenstein	0	0	0	0
Norway	18	436	84	520
Switzerland	25	42	3	46
Total	**43**	**478**	**87**	**565**
Of which offshore and near shore	0	2	0	2
Other (MW)				
Faroe Islands	0	4	0	4
Ukraine	1	87	66	151
Russia	0	9	n/a***	n/a***
Total	**1**	**101**	**66**	**164**
Total Europe	**10,280**	**86,647**	**10,281**	**96,607**

* Provisional
** Former Yugoslav Republic of Macedonia
*** Figure not communicated
Note: Due to previous year adjustments, 216.03 MW of project de-commissioning, re-powering and rounding of figures, the total 2011 end-of-year cumulative capacity is not exactly equivalent to the sum of the 2010 end-of-year total plus the 2011 additions.

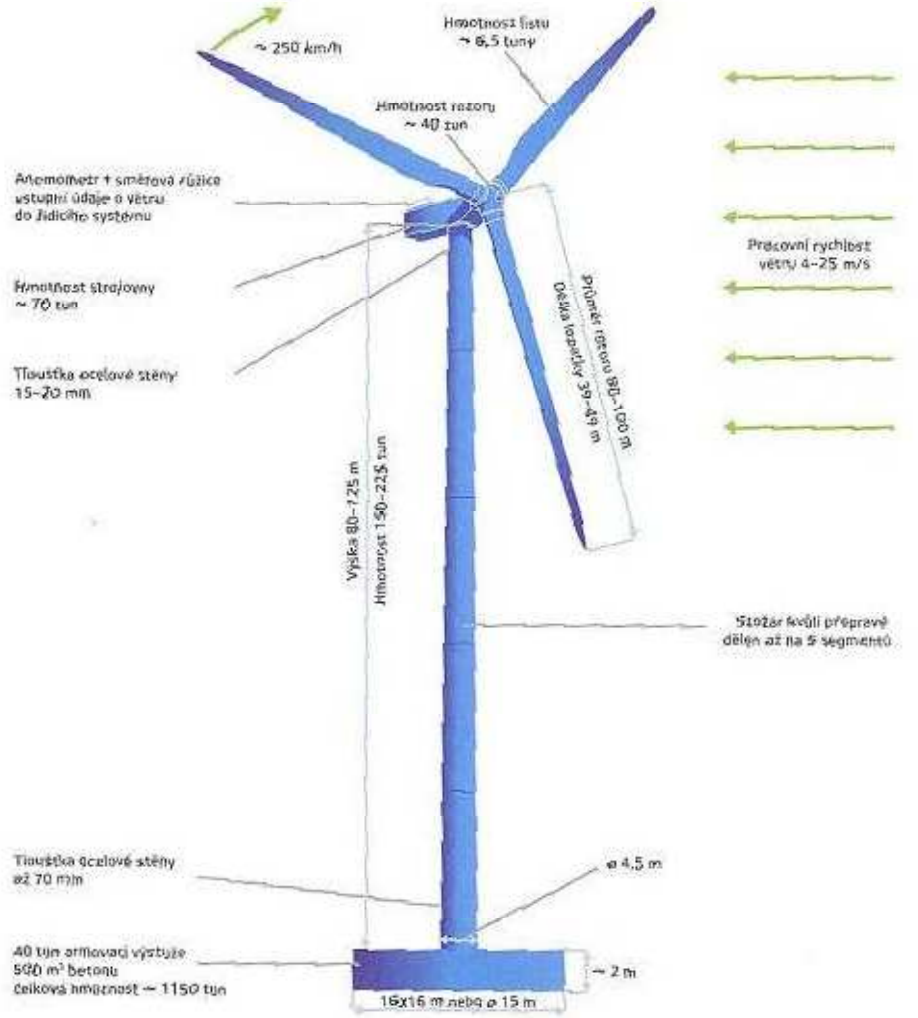
Zdroj: http://www.ewea.org

příloha č. 2 – Souhrnný popis zájmové oblasti



Zdroj: autorovo vlastní zpracování 2012

příloha č. 3 – Popis moderní VTE s vztlakovým principem



Zdroj: ČSVE 2011

příloha č. 4 – VTE Enercon E 70 – 2,0 MW (dohromady 4,0 MW) u obce Klíny

Zdroj: http://www.csve.cz/

příloha č. 5 – Konkrétní analýza jednotlivých pozorovacích bodů (č. bodů = ID v atributové tabulce)

17. 3. - slunečno, ranní opar, teploty ve stínu 17 °C, na slunci 30°C
18. 3. - jasno, teploty ve stínu 13°C, na slunci 24°C, rozhovor s majitelem VTE Klíny (pan Herzig)

č. bodu	vidit. VTE	souhlas s ArcMap?	poznámka
1	0	x	
2	0	x	
3	0	x	
4	0	x	
5	0	x	
6	0	x	
7	0	x	lesní silnice
8	0	x	lesní silnice
9	0	x	lesní silnice
10	0	x	
11	0	x	
12	0	x	
13	0	x	
14	0	x	lesní silnice
15	0	x	
16	0	x	
17	0	x	
18	0	x	
19	0	x	
20	0	x	
21	0	x	
22	0	x	
23	0	x	
24	0	x	
25	0	x	
26	0	x	
27	0	x	
28	0	--	je tu zatím jen malý les (VTE je viděna díky průseku v korunách
29	0	x	
30	0	x	
31	0	x	
32	0	x	
33	0	x	
34	0	x	
35	0	x	
36	0	x	
37	0	x	

38	0	x	
39	0	x	
40	0	x	
41	0	x	
42	0	x	
43	0	x	
44	0	x	
45	0	x	
46	0	x	
47	0	x	
48	0	x	
49	0	x	
50	0	x	
51	0	--	rotory VTE viděny jen lehce nad koruny stromů
52	0	x	
53	0	x	
54	0	x	
55	0	x	
56	0	x	
57	0	x	
58	0	x	
59	0	x	
60	0	x	
61	0	x	
62	0	x	
63	0	x	
64	0	x	
65	0	x	
66	0	x	
67	0	x	
68	0	x	
69	0	x	
70	0	x	
71	0	x	
72	0	x	
73	0	x	
74	0	x	
75	0	x	
76	0	x	
77	0	x	
78	0	x	
79	0	x	
80	0	x	
81	0	x	
82	0	x	

83	0	x	
84	0	x	
85	0	x	
86	1	x	
87	1	x	
88	1	x	
89	1	x	
90	1	x	VTE spatřeny až o cca 10 m dále z místa (vadila zástavba)
91	1	x	
92	1	x	
93	1	x	
94	2	x	VTE spatřeny až o cca 10 m dále z místa (vadila zástavba)
95	2	--	VTE nebyly viděny jen díky stromům
96	2	--	VTE nebyly viděny jen díky stromům
97	2	--	VTE nebyly viděny jen díky stromům
98	2	x	
99	2	x	
100	2	x	
101	pata 1	x	
102	pata 2	x	
103	pata 3	x	
104	pata 4	x	

Zdroj: autorovo vlastní zpracování 2012

příloha č. 6 – Tabulka kritických hodnot beta rozdělení (část č. 1)

Kritické hodnoty beta rozdělení
$P[X \geq B_{r,s}(0,025)] = 0,025$

s \ r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,975	0,987	0,992	0,994	0,995	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,999	0,999
2	0,842	0,906	0,932	0,947	0,957	0,963	0,968	0,972	0,975	0,977	0,979	0,981	0,982	0,983	0,984	0,985	0,986	0,987
3	0,708	0,806	0,853	0,882	0,901	0,915	0,925	0,933	0,940	0,945	0,950	0,953	0,957	0,960	0,962	0,964	0,966	0,968
4	0,602	0,716	0,777	0,816	0,843	0,863	0,878	0,891	0,901	0,909	0,915	0,922	0,927	0,932	0,936	0,939	0,943	0,946
5	0,522	0,641	0,710	0,755	0,788	0,813	0,833	0,848	0,861	0,872	0,882	0,890	0,897	0,903	0,909	0,913	0,918	0,922
6	0,459	0,579	0,651	0,701	0,738	0,766	0,789	0,808	0,823	0,837	0,843	0,858	0,867	0,874	0,881	0,887	0,893	0,898
7	0,410	0,527	0,600	0,652	0,692	0,723	0,749	0,770	0,787	0,802	0,813	0,827	0,837	0,846	0,854	0,861	0,868	0,874
8	0,369	0,482	0,556	0,610	0,651	0,684	0,711	0,734	0,753	0,770	0,785	0,797	0,809	0,819	0,828	0,836	0,844	0,851
9	0,336	0,445	0,518	0,572	0,614	0,649	0,677	0,701	0,722	0,740	0,753	0,769	0,782	0,793	0,803	0,812	0,820	0,828
10	0,308	0,413	0,484	0,538	0,581	0,616	0,646	0,671	0,692	0,711	0,723	0,743	0,756	0,768	0,779	0,789	0,798	0,806
11	0,285	0,385	0,454	0,508	0,551	0,587	0,617	0,643	0,665	0,685	0,702	0,718	0,732	0,744	0,756	0,766	0,776	0,785
12	0,265	0,360	0,428	0,481	0,524	0,560	0,590	0,616	0,639	0,660	0,679	0,694	0,709	0,722	0,734	0,745	0,755	0,765
13	0,247	0,339	0,405	0,456	0,499	0,535	0,566	0,592	0,616	0,636	0,655	0,672	0,687	0,701	0,713	0,725	0,736	0,745
14	0,232	0,319	0,383	0,434	0,476	0,512	0,543	0,570	0,593	0,615	0,634	0,651	0,666	0,681	0,694	0,706	0,717	0,727
15	0,218	0,302	0,364	0,414	0,456	0,491	0,522	0,549	0,573	0,594	0,613	0,631	0,647	0,661	0,675	0,687	0,698	0,709
16	0,206	0,287	0,347	0,396	0,437	0,472	0,502	0,529	0,553	0,575	0,594	0,612	0,628	0,643	0,657	0,669	0,681	0,692
17	0,195	0,273	0,331	0,379	0,419	0,454	0,484	0,511	0,535	0,557	0,575	0,594	0,611	0,626	0,640	0,653	0,665	0,676
18	0,185	0,260	0,317	0,363	0,403	0,437	0,467	0,494	0,518	0,540	0,559	0,577	0,594	0,609	0,623	0,636	0,649	0,660
19	0,176	0,249	0,304	0,349	0,388	0,422	0,451	0,478	0,502	0,521	0,543	0,561	0,578	0,594	0,608	0,621	0,634	0,645
20	0,168	0,238	0,292	0,336	0,374	0,407	0,436	0,463	0,487	0,508	0,523	0,546	0,563	0,579	0,593	0,606	0,619	0,631
22	0,154	0,219	0,270	0,312	0,349	0,381	0,410	0,435	0,459	0,480	0,500	0,518	0,535	0,551	0,565	0,579	0,592	0,604
24	0,142	0,204	0,251	0,292	0,327	0,358	0,386	0,411	0,434	0,455	0,475	0,493	0,510	0,525	0,540	0,554	0,567	0,579
23	0,132	0,190	0,235	0,274	0,307	0,337	0,364	0,389	0,412	0,433	0,452	0,470	0,487	0,502	0,517	0,531	0,544	0,556
28	0,123	0,178	0,221	0,258	0,290	0,319	0,345	0,369	0,392	0,412	0,431	0,449	0,465	0,481	0,495	0,509	0,522	0,535
30	0,116	0,167	0,208	0,243	0,275	0,303	0,328	0,352	0,373	0,393	0,412	0,429	0,446	0,461	0,476	0,490	0,502	0,515
35	0,100	0,145	0,182	0,214	0,242	0,268	0,292	0,314	0,334	0,353	0,371	0,388	0,403	0,418	0,433	0,446	0,459	0,471
40	0,088	0,129	0,162	0,191	0,217	0,241	0,263	0,283	0,302	0,320	0,337	0,353	0,368	0,383	0,397	0,410	0,422	0,434
45	0,079	0,115	0,145	0,172	0,196	0,218	0,239	0,258	0,276	0,293	0,309	0,324	0,339	0,353	0,366	0,379	0,391	0,402
50	0,071	0,104	0,132	0,157	0,179	0,200	0,219	0,237	0,254	0,270	0,285	0,300	0,314	0,327	0,340	0,352	0,364	0,375
60	0,060	0,088	0,112	0,133	0,152	0,170	0,187	0,203	0,219	0,233	0,247	0,260	0,273	0,285	0,297	0,308	0,319	0,330
70	0,051	0,076	0,097	0,115	0,133	0,149	0,164	0,178	0,192	0,205	0,218	0,230	0,242	0,253	0,264	0,274	0,284	0,294
80	0,045	0,067	0,085	0,102	0,117	0,132	0,146	0,159	0,171	0,183	0,195	0,206	0,217	0,227	0,237	0,247	0,256	0,266
90	0,040	0,060	0,076	0,091	0,105	0,119	0,131	0,143	0,155	0,166	0,178	0,187	0,196	0,206	0,216	0,225	0,234	0,242
100	0,036	0,054	0,069	0,083	0,096	0,108	0,119	0,130	0,141	0,151	0,161	0,170	0,180	0,189	0,197	0,206	0,214	0,222

Zdroj: RNDr. Vladimír Puš, CSc.

příloha č. 7 – Tabulka kritických hodnot beta rozdělení (část č. 2)

Kritické hodnoty beta rozdělení
$P[X \geq B_{r,s}(0,025)] = 0,025$

s \ r	19	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
1	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,988	0,988	0,989	0,990	0,991	0,992	0,992	0,993	0,994	0,995	0,995	0,996	0,997	0,997	0,997	0,998
3	0,970	0,971	0,973	0,976	0,977	0,979	0,980	0,983	0,985	0,987	0,988	0,990	0,991	0,992	0,993	0,994
4	0,948	0,950	0,955	0,958	0,961	0,964	0,966	0,971	0,974	0,977	0,979	0,982	0,985	0,987	0,988	0,989
5	0,925	0,929	0,934	0,939	0,944	0,947	0,950	0,957	0,962	0,966	0,969	0,974	0,978	0,980	0,983	0,984
6	0,902	0,906	0,914	0,920	0,925	0,930	0,934	0,943	0,949	0,955	0,959	0,965	0,970	0,974	0,976	0,979
7	0,879	0,884	0,893	0,901	0,907	0,913	0,918	0,928	0,937	0,943	0,948	0,956	0,962	0,967	0,970	0,973
8	0,857	0,862	0,873	0,881	0,889	0,896	0,902	0,914	0,924	0,931	0,937	0,947	0,954	0,959	0,964	0,967
9	0,835	0,841	0,853	0,863	0,871	0,879	0,886	0,900	0,911	0,919	0,927	0,938	0,946	0,952	0,957	0,961
10	0,814	0,821	0,833	0,844	0,854	0,862	0,870	0,885	0,898	0,907	0,916	0,928	0,938	0,945	0,950	0,955
11	0,793	0,801	0,814	0,826	0,837	0,846	0,854	0,871	0,885	0,896	0,905	0,919	0,929	0,937	0,944	0,949
12	0,773	0,782	0,796	0,809	0,820	0,830	0,839	0,857	0,872	0,884	0,894	0,910	0,921	0,930	0,937	0,943
13	0,755	0,763	0,778	0,792	0,804	0,814	0,824	0,844	0,860	0,873	0,883	0,900	0,913	0,923	0,930	0,937
14	0,736	0,745	0,761	0,775	0,788	0,799	0,809	0,830	0,847	0,861	0,873	0,891	0,905	0,915	0,924	0,931
15	0,719	0,728	0,745	0,760	0,773	0,784	0,795	0,817	0,835	0,850	0,862	0,882	0,896	0,908	0,917	0,924
16	0,702	0,712	0,729	0,744	0,758	0,770	0,781	0,805	0,824	0,839	0,852	0,873	0,888	0,901	0,910	0,918
17	0,686	0,696	0,714	0,730	0,744	0,756	0,768	0,792	0,812	0,829	0,842	0,864	0,880	0,893	0,904	0,912
18	0,671	0,681	0,699	0,715	0,730	0,743	0,755	0,780	0,801	0,818	0,832	0,855	0,873	0,886	0,897	0,906
19	0,656	0,666	0,685	0,702	0,717	0,730	0,742	0,769	0,790	0,808	0,823	0,847	0,865	0,879	0,891	0,900
20	0,642	0,652	0,671	0,688	0,704	0,717	0,730	0,757	0,779	0,798	0,813	0,838	0,857	0,872	0,884	0,894
22	0,615	0,626	0,645	0,663	0,679	0,693	0,707	0,735	0,758	0,778	0,795	0,821	0,842	0,858	0,871	0,882
24	0,590	0,601	0,621	0,639	0,656	0,671	0,684	0,714	0,739	0,759	0,777	0,805	0,827	0,845	0,859	0,871
26	0,568	0,578	0,599	0,617	0,634	0,649	0,663	0,694	0,720	0,741	0,760	0,790	0,813	0,831	0,847	0,859
28	0,546	0,557	0,578	0,597	0,614	0,629	0,644	0,675	0,702	0,724	0,743	0,774	0,799	0,819	0,835	0,848
30	0,526	0,538	0,558	0,577	0,594	0,610	0,625	0,657	0,684	0,707	0,727	0,760	0,785	0,806	0,823	0,837
35	0,483	0,494	0,515	0,534	0,551	0,567	0,583	0,616	0,644	0,669	0,690	0,725	0,753	0,776	0,795	0,811
40	0,445	0,456	0,477	0,496	0,514	0,530	0,545	0,579	0,609	0,634	0,656	0,693	0,723	0,748	0,768	0,786
45	0,413	0,424	0,444	0,463	0,481	0,497	0,512	0,547	0,576	0,602	0,625	0,664	0,696	0,722	0,743	0,762
50	0,386	0,396	0,416	0,434	0,452	0,468	0,483	0,517	0,547	0,574	0,597	0,637	0,670	0,697	0,720	0,740
60	0,340	0,350	0,369	0,386	0,403	0,419	0,433	0,467	0,497	0,524	0,548	0,589	0,623	0,652	0,677	0,698
70	0,304	0,313	0,331	0,348	0,364	0,379	0,393	0,426	0,455	0,482	0,506	0,547	0,582	0,612	0,638	0,661
80	0,275	0,283	0,300	0,316	0,331	0,346	0,359	0,391	0,420	0,446	0,469	0,511	0,547	0,577	0,604	0,627
90	0,251	0,259	0,275	0,290	0,304	0,318	0,331	0,362	0,389	0,415	0,438	0,479	0,515	0,546	0,573	0,597
100	0,230	0,238	0,253	0,267	0,281	0,294	0,307	0,336	0,363	0,388	0,410	0,451	0,486	0,517	0,545	0,569

Zdroj: RNDr. Vladimír Puš, CSc.