

# **Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice z perspektivy roku 2020**



***David Hanslian***

***Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i.***

***Praha, 2020***

## **Obsah**

1. Úvod .....	2
1.1 Scénář nebo potenciál? .....	3
2. Původní studie větrného potenciálu.....	4
2.1 Větrné podmínky.....	4
2.2 Technický potenciál větrné energie.....	5
2.3 Realizovatelný potenciál větrné energie.....	8
2.4 Aktualizace větrného potenciálu z perspektivy roku 2012 .....	10
3. Nová aktualizace větrného potenciálu .....	11
3.1 Vymezení scénářů vývoje větrné energetiky .....	11
3.2 Nová aktualizace technického potenciálu .....	12
3.2.1 Technologický vývoj a trendy ve větrné energetice.....	12
3.2.1.1. Hustota výkonu VtE a její implikace.....	13
3.2.1.2 Uvažované typy VtE a jejich parametry .....	17
3.2.1.3 Aktualizace parametrů technického potenciálu .....	20
3.3. Nová aktualizace realizovatelných scénářů.....	23
3.4. Nová aktualizace regionálního rozložení.....	24
3.5. Výsledný odhad realizovatelných scénářů .....	26
4. Diskuze .....	27
4.1 Porovnání se současným využitím větrné energie v zahraničí .....	27
4.2 Potenciál větrné energie v klimatologických souvislostech.....	32
4.3 Environmentální a technické limity výstavby VtE .....	35
4.4 Integrace větrné energie do elektrické sítě.....	38
5. Shrnutí a závěr.....	43
Literatura.....	45

## 1. Úvod

Provádět jakékoli prognózy budoucího vývoje, zejména jedná-li se o budoucnost vzdálenějšího rázu, je vždy ošemetnou disciplínou. Nejenže je obtížné předpovědět cesty, kterými se bude ubírat vývoj technologií, ještě méně je předpověditelný vývoj společenských nálad a trendů, politického vývoje či ekonomiky, jejichž turbulence mohou položit jakékoli předpovědi na hlavu. Pro stále mladý obor obnovitelných zdrojů toto platí dvojnásob – například náhlý boom a následný úpadek realizací fotovoltaických zdrojů v Česku okolo roku 2010 způsobený nepovedenou regulací bylo stěžejí možno nějakými dlouhodobějšími prognózami předvídat.

Nemenší dopad vývoje politických a společenských nálad lze pozorovat i v oboru větrné energie. Přestože geografické podmínky České republiky umožňují smysluplnou realizaci nemalého objemu větrných elektráren (dále VtE), ve skutečnosti se jejich rozvoj na našem území prakticky zastavil zhruba před deseti lety následkem nejrůznějších bariér. Veškeré minulé predikce rozvoje větrné energie tak zůstaly nenaplněny. V tomto smyslu je nutno chápat i tuto práci: jedná se o predikci toho, kam se z aktuální perspektivy technického a ekonomického vývoje může obor větrné energie v Česku rozvíjet v příštích desetiletích – pokud mu to bude umožněno.

Vytvoření této nové studie bylo vyvoláno potřebou reflektovat vývoj a trendy v oboru větrné energie od doby zpracování předchozích studií ([Hanslian a Hošek, 2012](#); [Chalupa a Hanslian, 2015](#)). Současně lze nyní uplatnit nově získané praktické poznatky například ohledně větrnosti, provozních ztrát VtE, či jejich umístování a realizovatelnosti. Na tomto základě je cílem provést nejen novou komplexní revizi a aktualizaci odhadu potenciálu větrné energie, ale současně i poskytnout určitý obecný nadhled nad problematikou možností a limitů využití větrné energie v České republice a nad otázkami s tím souvisejícími. Příležitost a motivace k vytvoření této studie byla poskytnuta Komorou obnovitelných zdrojů energie, z.s., v souvislosti s aktuální snahou o zmapování potenciálu různých obnovitelných zdrojů energie.

Tato studie vychází, stejně jako práce jí předcházející, z podrobné analýzy technického potenciálu větrné energie v České republice zpracované v roce 2007 Ústavem fyziky atmosféry AV ČR ([Hanslian a kol., 2007](#)), a z následné studie potenciálu realizovatelného ([Hanslian a kol., 2008](#)). Byť za uplynulé více než desetiletí došlo k nemalému technologickému vývoji i ke zlepšení znalostí v mnoha ohledech, jádro tehdy provedených výpočtů a analýz lze považovat za stále relevantní. Koncepte, která byla tehdy zvolena, a následně několikrát aktualizována, je tak s úpravami použita i v rámci této studie.

Studie se skládá z několika částí. Po úvodním shrnutí předcházejících studií ([kap. 2](#)) jsou popsána východiska pro odvození aktuálního odhadu větrného potenciálu a z nich vyplývající výsledky ([kap. 3](#)). Aktualizován je předpokládaný technologický vývoj, jsou aplikovány zkušenosti s reálným provozem VtE a aktualizovány jsou taktéž předpoklady ohledně umístování a provozních omezení VtE.

Nad rámec předchozích studií je nyní věnována větší pozornost i dalším aspektům souvisejícím s realizací a realističností prezentovaných scénářů. Vzhledem tomu, že v zemích západní Evropy je již po nezanedbatelnou dobu poskytován prostor pro využití větrné energie, je možno – při zohlednění geografických a jiných rozdílností – porovnávat odhadované scénáře budoucího rozvoje větrné energie v České republice se současným stavem větrné energetiky v těchto zemích ([kap. 4.1](#)) a tím získat zpětnou vazbu ohledně realističnosti dosažených výsledků. Další okolností, které je nově věnována pozornost, jsou klimatologické aspekty využití větrné energie, a to z pohledu vzájemného ovlivnění VtE, z hlediska možnosti ovlivnění klimatických podmínek provozem VtE i z pohledu dopadu klimatických změn na VtE ([kap. 4.2](#)). Dále je provedena i mírně rozšířená diskuze klíčových environmentálních a technických limitů pro výstavbu VtE ([kap. 4.3](#)) a samostatná [kapitola 4.4](#) se dotýká tématu integrace proměnlivé výroby elektřiny z VtE do elektrické sítě.

## 1.1 Scénář nebo potenciál?

Po zpracování a zveřejnění předcházejících studií realizovatelného větrného potenciálu (Hanslian a kol., 2008; Hanslian a Hošek, 2012) se ukázalo, že použitá terminologie často vedla ke špatnému pochopení a interpretaci jejich výsledků.

Pojem "potenciál" se běžně používá pro označení maximálních, teoretických možností. Takové definici odpovídá pojetí potenciálu větrné energetiky ve smyslu klimatologickém (*klimatologický potenciál* jako z klimatologického pohledu teoreticky maximální možné množství využitelné energie) či technickém (*technický potenciál* jako odhad, kolik VtE lze nejvýše realizovat v rámci stávajících technických, případně též legislativních či ekonomických omezení).

Vedle toho byl v předchozích studiích definován tzv. *realizovatelný potenciál*. Jeho cílem bylo odhadnout takové množství, výkon a výrobu větrných elektráren, které počítá s možnostmi reálného světa a které bude za daných předpokladů skutečně realizováno. Jak se však ukázalo, zřejmě i následkem použité terminologie byly výsledky předchozích studií realizovatelného potenciálu často interpretovány ve smyslu potenciálu technického. Realizovatelný potenciál byl chápán jako teoretická, maximální hodnota, kterou je nutno pro přiblížení se realitě redukovat na vrub okolností souvisejících s praktickou realizovatelností VtE. Tyto okolnosti však ve skutečnosti již byly v odhadu realizovatelného potenciálu zohledněny. Tato dezinterpretace často vedla k chybným závěrům, kdy byly možnosti větrné energie v České republice značně podceňovány. Aby k tomuto nepochopení pokud možno nadále nedocházelo, je v této studii termín realizovatelný potenciál nahrazen termínem *realizovatelný scénář*, který snad lépe vystihuje podstatu věci.

Potenciál větrné energie je tedy analyzován na těchto dvou úrovních:

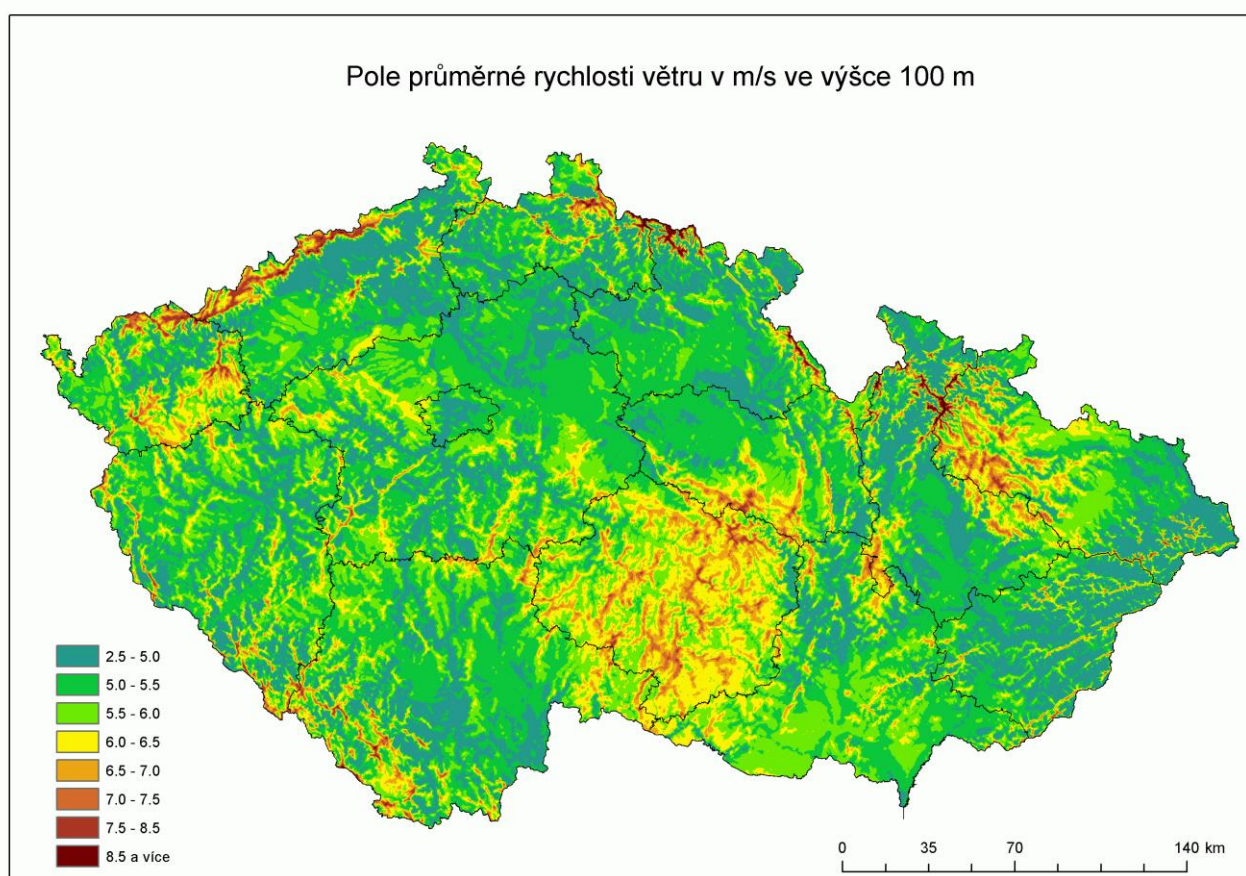
i) technický potenciál ukazuje, jaký by byl maximální možný rozvoj větrné energetiky při úplném využití předpokládaných technických možností. Jeho velikost je vedle klimatických podmínek a předpokládaných technických možností limitována taktéž známými legislativními omezeními (např. hluk či ochrana přírody) a předpokládanou ekonomikou projektů VtE (tedy větrnými podmínkami). Nejde tedy o maximální teoreticky možné množství VtE, ale o potenciál větrné energie v rámci definovaných limitů jejich výstavby,

ii) realizovatelný scénář (dříve realizovatelný potenciál) má za cíl odhadnout množství VtE, jejichž výstavba je za daných podmínek skutečně reálná. Nad rámec technického potenciálu jsou zde parametrizovány okolnosti, které není možno objektivně definovat v rámci studie technického potenciálu. Jde zejména o okolnosti subjektivního rázu (krajinný ráz, postoj obyvatel) a o okolnosti, které je možno zjistit až při detailním průzkumu konkrétní lokality (místní technická či environmentální omezení).

## 2. Původní studie větrného potenciálu

### 2.1 Větrné podmínky

Prvním a klíčovým krokem pro relevantní odhad potenciálu větrné energie je zjištění reálných větrných podmínek na území České republiky. Za tímto účelem bylo v rámci studie technického potenciálu (Hanslian a kol., 2007) vypočteno pole rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem, což je typická výška osy rotoru VtE tehdy uvažovaných VtE (obr. 1). Pole rychlosti větru bylo určeno na základě kombinace modelů VAS/WAsP 2 a PIAP, podkladem pro výpočet těchto modelů bylo měření pozemních meteorologických stanic a měřících stožárů. Více informací o konstrukci větrné mapy lze nalézt například v dizertační práci (Hanslian, 2014) či odborných článcích (Hanslian a kol., 2012; Hanslian a kol., 2014; Hanslian a Hošek, 2015).



**Obr. 1:** Větrná mapa České republiky ve výšce 100 m dle Ústavu fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i.



## 2.2 Technický potenciál větrné energie

Technický potenciál větrné energie byl původně odhadnut v rámci studie (Hanslian a kol, 2007):

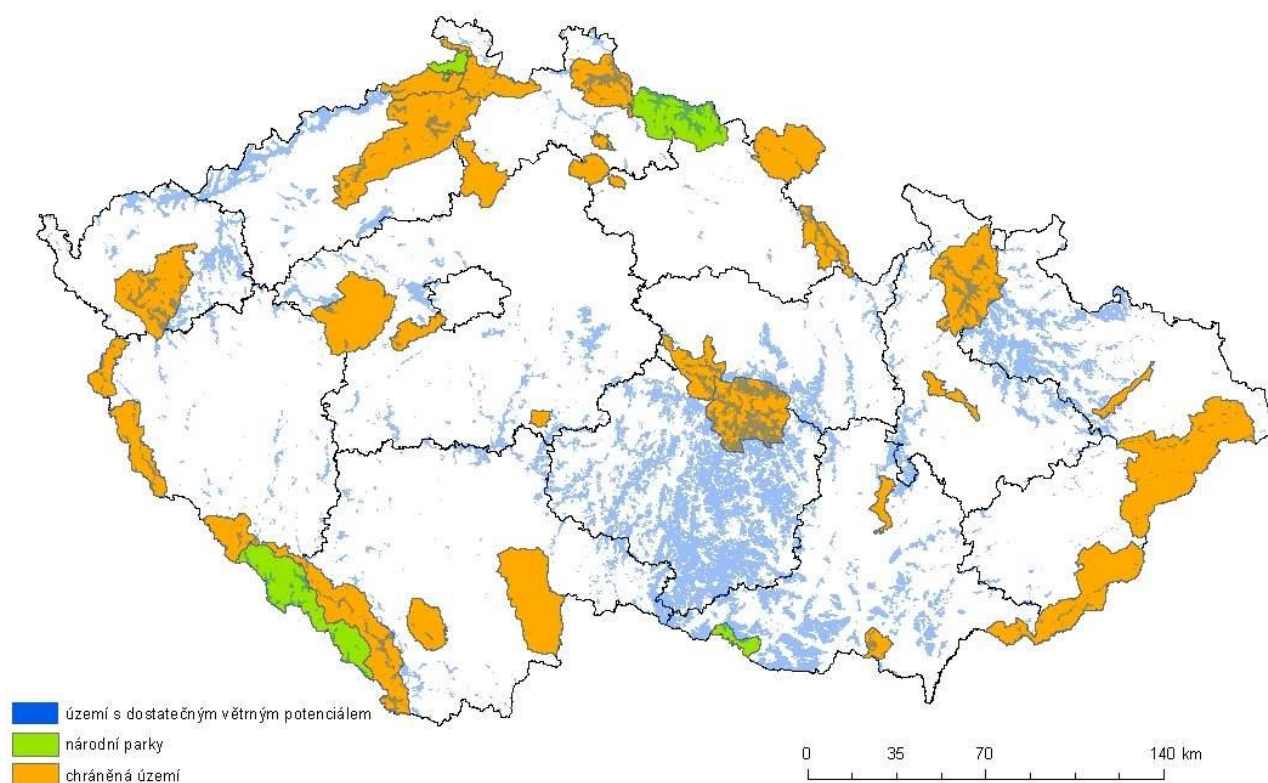
V prvním kroku byl vymezen rozsah území, kde byla za stávajících ekonomických podmínek výstavba VtE považována za rentabilní. Za limitující faktor byla považována primárně vypočtená průměrná rychlost větru ve výšce 100 m nad povrchem, neboť větrnost lokality je hlavním faktorem určujícím výnosy daného projektu.

Aby stanovení limitu pro výstavbu VtE lépe odpovídalo místním podmínkám, byla hranice rentability modifikována. Limit ve výši 6 m/s byl uvažován pro typický případ bezlesé krajiny ve středních nadmořských výškách 450 - 600 m n.m. Pro ostatní území byl limit upraven následovně:

- roste s rostoucí nadmořskou výškou (od 5,8 m/s v nadmořské výšce do 300 m n. m. do 6,3 m/s v nadmořské výšce nad 900 m n.m.), neboť s nadmořskou výškou lokality silně koreluje řada faktorů negativně ovlivňujících ekonomiku výstavby VTE – snižující se hustota vzduchu, námraza, náklady na vyvedení výkonu a jinou infrastrukturu apod.,

- roste s rostoucí členitostí a hustotou vegetačního krytu odvozeného podle klasifikace land-cover CORINE, a to jednak z důvodu zvýšeného počtu překážek (střídavá krajina) či posunu vertikálního profilu rychlosti větru (souvislý porost), a jednak z důvodu v průměru vyšší investiční náročnosti a obtížnějšího povolovacího řízení v členitých či lesnatých typech krajiny. Konkrétně byla hranice rentability navýšena v případě souvislých lesních porostů o 0,7 m/s, v případě střídavé krajiny méně.

Výsledné území s dostatečným větrným potenciálem je znázorněno na obr. 2. Pro ilustraci jsou zobrazeny taktéž hranice krajů a rozsah velkoplošných chráněných území, která jsou jedním z podstatných omezujících kritérií v dalších krocích.



**Obr. 2:** Území s dostatečným větrným potenciálem vs. velkoplošná chráněná území (dle studie Hanslian a kol., 2007)

V druhém kroku byly na zjištěném území s dostatečným větrným potenciálem aplikovány výše definované "tvrdé" limity pro výstavbu VtE. Jedná se o:

- prostor sídel a jejich okolí do vzdálenosti 500 m od obytné zástavby
- zvláště chráněná území (národní parky, chráněné krajinné oblasti, (národní) přírodní rezervace a památky)
- vojenské prostory
- blízká okolí hlavních letišť
- ochranná pásma 150 m v okolí elektrických vedení VVN a 100 m v okolí silniční a železniční sítě.

Území přírodních parků, soustavy NATURA 2000 (evropsky významné lokality a ptačí oblasti) a plochy lesů nyní vyloučeny nebyly, byla však na ně posléze uplatněna silná redukce při odhadu realizovatelného potenciálu.

Další limity aplikovány nebyly, neboť se jedná o okolnosti technicky řešitelné nebo je nelze posoudit bez podrobnějšího průzkumu konkrétní lokality.

Ve třetím kroku byly na území, které bylo vymezeno jako možné pro výstavbu větrných elektráren, rozmístěny jednotlivé teoretické pozice VtE. Rozmístování bylo prováděno podle těchto pravidel:

- cílem bylo pokud možno maximalizovat počet umístěných VtE a teoretické množství vyrobené elektrické energie těmito elektrárnami,
- VtE byly umístovány v rámci možností pokud možno na vhodných pozicích (vyvýšená místa otevřená proudění vzduchu),
- minimální vzdálenost mezi VtE činí  $5 \times D$  v místech bez výrazně převládajícího směru větru. V místech s výrazně převládajícím směrem větru pak  $6 \times D$  ve směru převládajícího větru a  $3 \times D$  ve směru kolmém na něj.  $D$  je průměr rotoru větrné elektrárny.

Jako modelová technologie byla uvažována větrná elektrárna Vestas V90 o průměru rotoru 90 m a výšce osy rotoru 100 m, a to ve dvou variantách s výkony 2 MW a 3 MW. Varianta 2 MW určená do méně větrných lokalit byla předpokládána v místech s průměrnou rychlostí do 7 m/s ve výšce 100 m, v místech s vyšší rychlostí větru byla uvažována 3 MW verze.

Tímto způsobem bylo na území České republiky umístěno celkem 22098 možných pozic větrných elektráren.

Ve čtvrtém kroku došlo iterativní metodou k vyřazení těch VtE, které se po započtení vlivu vzájemného stínění s okolními elektrárnami dostaly pod úroveň minimální požadované průměrné rychlosti větru, jak byla definována v prvním kroku. Z původního počtu bylo vyřazeno cca 40 % a po redukci tak zbylo na území České republiky 12922 pozic větrných elektráren ([tab. 1](#)).

typ elektrárny	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/rok]
2 MW	9904	19808	50131
3 MW	3018	9054	20789
celkem	12922	28862	70919

	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/rok]
Středočeský kraj	727	1471	3627
Jihočeský kraj	945	2133	5282
Plzeňský kraj	429	876	2243
Karlovarský kraj	586	1451	3545
Ústecký kraj	985	2632	6266
Liberecký kraj	217	478	1216
Královéhradecký kraj	113	239	596
Pardubický kraj	722	1595	4017
Vysočina	4141	9154	22497
Jihomoravský kraj	1576	3194	7775
Olomoucký kraj	739	1687	4221
Zlínský kraj	182	375	946
Moravskoslezský kraj	1560	3577	8689
ČR	12922	28862	70919

**Tab. 1:** Technický potenciál větrné energie dle studie *Hanslian a kol., 2007*



### 2.3 Realizovatelný potenciál větrné energie

V původní studii ([Hanslian a kol., 2007](#)) byl realizovatelný potenciál zkoumán na základě dvou zcela odlišných přístupů, které však dospěly k přibližně podobným výsledkům. První přístup vycházel z realizace větrných elektráren v okolních zemích, druhý pak ze zhodnocení faktorů limitujících realizovatelnost VtE. Aktualizace realizovatelného potenciálu z roku 2012 ([Hanslian a Hošek, 2012](#)) i nynější studie vycházejí z druhého uvedeného přístupu. Analýza ve smyslu prvního přístupu je nicméně součástí i nynější studie ([kap 4.1](#)).

Přístup založený na zhodnocení faktorů limitujících realizovatelnost VtE uvažoval v původní studii tři scénáře společenské podpory pro větrnou energii: nízký, střední a vysoký ([tab. 2](#)). Pro jednotlivé scénáře byla odhadována redukce potenciálně možných pozic VtE z důvodu různých faktorů, které mohou jejich realizaci znemožnit. Procenta v tabulce definují podíl pozic, které nejsou vyřazeny z příslušného důvodu.

redukce	způsob uplatnění	nízký scénář	střední scénář	vysoký scénář
1) souhlas obyvatel a obce	plošně - celá ČR	30 %	55 %	80 %
2) místní technická omezení	plošně - celá ČR	35 %	45 %	50 %
3) místa zvýšeného přírodního, kulturního či estetického významu	plošně - celá ČR	70 %	75 %	80 %
4a) lesy a přírodní plochy	plošně - dané území	25 %	50 %	100 %
4b) přírodní park	plošně - dané území	0 %	25 %	50 %
4c) Natura - ptačí oblast	plošně - dané území	0 %	25 %	50 %
4d) Natura - EVL	plošně - dané území	0 %	25 %	50 %
5) krajinný ráz a kapacita sítí - nad 400 m n.m.	počet VtE do vzdálenosti 15 km	max 15	max 30	max 60
5) krajinný ráz a kapacita sítí - do 400 m n.m.	počet VtE do vzdálenosti 15 km	max 30	max 60	max 120

**Tab. 2:** Uplatňované redukce pro výpočet realizovatelného potenciálu dle studie [Hanslian a kol., 2008](#)

Mezi jednotlivými faktory tvoří hlavní část podíl plošné redukce 1) až 3), které ve středním scénáři vedou na celém území k vyřazení 81,5 % možných pozic VtE. Redukce 4a) až 4d) mají spíše lokální význam. Redukce 5) silně limituje "hustotu" větrných elektráren v oblastech s jejich nejvyšším teoretickým počtem, což se týká zejména oblasti Českomoravské vrchoviny a v menší míře Nízkého Jeseníku. Odvozené hodnoty pro jednotlivé scénáře ukazuje [tab. 3](#):

kraj	nízký scénář			střední scénář			vysoký scénář		
	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/r]	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/r]	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/r]
Hl. město Praha	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Středočeský	40	80	194	108	219	480	229	460	1131
Jihočeský	44	95	238	100	209	474	200	435	1098
Plzeňský	20	40	101	56	112	256	119	240	614
Karlovarský	12	28	69	51	116	259	139	338	828
Ústecký	14	34	79	77	192	415	196	494	1180
Liberecký	13	28	73	28	58	131	61	131	334
Královéhradecký	8	16	42	18	37	82	40	82	205
Pardubický	37	77	194	73	156	357	182	391	983
Vysočina	110	231	580	230	494	1113	644	1417	3518
Jihomoravský	85	171	405	225	453	981	420	847	2053
Olomoucký	30	64	162	71	161	360	163	378	942
Zlínský	9	18	45	19	38	83	51	103	259
Moravskoslezský	50	109	261	123	269	586	292	656	1579
<b>ČR</b>	<b>472</b>	<b>991</b>	<b>2443</b>	<b>1179</b>	<b>2516</b>	<b>5577</b>	<b>2736</b>	<b>5972</b>	<b>14723</b>

**Tab. 3:** Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR metodou založenou na zhodnocení faktorů limitujících realizaci technického potenciálu dle studie *Hanslian a kol., 2008*

## 2.4 Aktualizace větrného potenciálu z perspektivy roku 2012

Aktualizace větrného potenciálu v roce 2012 (Hanslian a Hošek, 2012) byla provedena jak na úrovni potenciálu technického, tak i potenciálu realizovatelného.

Z hlediska technického potenciálu byly provedeny zejména tyto změny:

- na základě nových poznatků o větrnosti byly uvažovány mírně nižší rychlosti větru plošně na území ČR a ve zvýšené míře v prostoru Českomoravské vrchoviny (=> redukce vhodného území, a v důsledku toho množství, výkonu i výroby VtE),

- byly předpokládány větší a vyšší větrné elektrárny, byl eliminován typ elektrárny s vysokým poměrem výkonu vůči velikosti rotoru (=> snížení počtu VtE, ale zhruba zachování jejich souhrnného výkonu a podstatné zvýšení výroby),

- nutnost větších odstupů od osídlení, zejména kvůli hluku (=> redukce množství, výkonu i výroby VtE).

V součtu došlo k redukci celkového instalovaného výkonu o přibližně 15 % a k zachování celkové výroby energie na přibližně původní úrovni.

Realizovatelný potenciál byl uvažován pouze v jednom (středním) scénáři, který byl primárně odvozen ve shodě s předchozí studií (viz tab. 3). Nad rámec toho však byly uvažovány určité modifikace:

- byl zohledněn fakt, že ekonomická motivace vede k relativně vyšší realizaci VtE ve více větrných regionech na úkor méně větrných oblastí,

- byly subjektivně zohledněny některé další okolnosti, o kterých bylo předpokládáno, že budou mít dopad na realizovatelnost v jednotlivých regionech – například rekreační využití území či hustota sídelní struktury.

V souhrnu na základě těchto korekcí došlo k mírnému snížení celkového potenciálu a k přeskupení ve prospěch nejvíce větrných a nejméně osídlených lokalit, které se nacházejí zejména v Ústeckém kraji (Krušné hory) a Moravskoslezském kraji (Nízký Jeseník) na úkor ostatního území. Výsledný odhad realizovatelného potenciálu ukazuje tab. 4:

	korekce	počet VTE	výkon [MW]	výroba [GWh/rok]
Středočeský kraj	65 %	47	141	337
Jihočeský kraj	75 %	52	156	398
Plzeňský kraj	80 %	30	90	226
Karlovarský kraj	85 %	33	99	254
Ústecký kraj	250 %	160	480	1361
Liberecký kraj	85 %	16	48	126
Královéhradecký kraj	75 %	9	27	67
Pardubický kraj	65 %	34	102	253
Vysočina	85 %	140	420	1088
Jihomoravský kraj	55 %	83	249	595
Olomoucký kraj	85 %	46	138	360
Zlínský kraj	75 %	10	30	68
Moravskoslezský kraj	110 %	99	297	788
<b>ČR</b>		<b>759</b>	<b>2277</b>	<b>5922</b>

**Tab. 4:** Aktualizovaný odhad realizovatelného potenciálu větrné energie v České republice (Hanslian a Hošek, 2012)

### **3. Nová aktualizace větrného potenciálu**

#### **3.1 Vymezení scénářů vývoje větrné energetiky**

Zpracování aktuální studie do značné míry zachovává logiku studií předcházejících, kdy je potenciál větrné energie analyzován ve dvou stupních. Prvním stupněm je analýza *technického potenciálu*, který má za cíl reflektovat klimatologické, technické a ekonomické předpoklady a limity využití větrné energie a zohledňuje i dobře definovatelná prostorová omezení pro výstavbu VtE. Druhým stupněm je odhad *realizovatelných scénářů* (dříve realizovatelný potenciál), které reprezentují skutečný počet, výkon a výrobu VtE, jejichž realizaci lze očekávat v následujících 20 letech (po zohlednění okolností, které v praxi snižují realizovatelnost VtE).

Odhad velikosti technického potenciálu i realizovatelných scénářů nevyhnutelně závisí na řadě okolností, které lze obtížně odhadnout či předvídat. Zcela prominentní místo má v tomto ohledu otázka celospolečenské podpory pro využívání větrné energie. Pokud je větrná energie všeobecně vnímána jako věc neprospěšná, pak je šance na získání povolení k výstavbě VtE velmi nízká a realizace větrných elektráren jsou zcela zanedbatelné. To je zhruba situace odpovídající současnému stavu. Uvažované scénáře využití větrné energie předpokládají, že v budoucnu dojde vzhledem k poklesu nákladů na využívání energie větru, vzhledem k nutnosti nahrazovat fosilní zdroje energie a vzhledem ke zvýšení informovanosti o různých aspektech využití energie větru k určitému odbourání takto negativního sentimentu. V tomto smyslu byly definovány dva scénáře:

*Konzervativní scénář* předpokládá, že větrná energetika bude přijímána jako potřebný zdroj elektrické energie a jejímu rozvoji nebudou kladeny překážky nad rámec nezbytných omezení, její využití však nebude považováno za prioritu. Postoj veřejnosti i státní správy k VtE bude nejednoznačný a bude tendence ke spíše přísnější regulaci výstavby VtE. Tento scénář odpovídá střednímu scénáři ze studií z let 2008 a 2012 ([Hanslian a kol, 2008](#); [Hanslian a Hošek, 2012](#)).

*Optimistický scénář* předpokládá převažující vstřícný postoj k VtE, a to ze strany veřejnosti i úřadů. Využití větrné energie bude považováno za důležitý veřejný zájem. Významnější bariéry rozvoje větrné energetiky budou pokud možno odstraňovány, respektive bude existovat vůle hledat taková řešení, která při respektování všech relevantních zájmů umožní co nejvyšší využití větrné energie. Ani v tomto případě nejde o maximální možné využití větrné energie. Tento scénář zhruba odpovídá dosavadnímu přístupu k větrné energii v Německu (byť nyní dochází k určitému zpřísnování podmínek).

V obou scénářích je předpokládáno, že ekonomické podmínky pro větrné elektrárny budou podobné, jako tomu bylo v období posledních 15 let – ať už díky nějaké formě podpory, nebo (díky předpokládanému poklesu nákladů na VtE a zvyšování cen energií) na tržní bázi. Na rozdíl od předchozích studií se však nyní použité scénáře mírně odlišují na straně technologie, kdy konzervativní scénář předpokládá tendenci k omezování rozměru větrných elektráren pod jejich optimální rozměr, což má dopad i do ekonomiky některých projektů. Optimistický scénář tak umožňuje díky větší výšce elektráren rozvoj v méně větrných oblastech než scénář konzervativní.

Plná realizace obou scénářů je předpokládána okolo roku 2040, čemuž odpovídá i volba uvažovaných technologií.

### 3.2 Nová aktualizace technického potenciálu

#### 3.2.1 Technologický vývoj a trendy ve větrné energetice

Přestože se větrná energetika v mnoha aspektech stále jeví jako dynamicky se vyvíjející obor, základní principy technologického řešení VtE se stabilizovaly již před několika desetiletími. Jde o důvěrně známou podobu třílisté vrtule orientované vstříc vůči směru proudění, kde je využíváno natáčení lopatek pro optimalizaci úhlu náběhu větru a řízení výkonu VtE. Technologické odlišnosti mezi různými typy VtE se omezují na okolnosti, které nemají z obecného pohledu zásadní význam, přičemž v některých případech různé konstrukční varianty dlouhodobě existují vedle sebe – jde například o konstrukci generátoru (s převodovkou či bez převodovky) či věže (ocelová tubusová, betonová, hybridní, ocelová příhradová). Technologický vývoj VtE během posledních několika desítek let se tak neodehrává v podobě zásadních průlomů, ale drobných evolučních změn, které umožňují postupné zvětšování rozměru větrných elektráren, zvyšování jejich spolehlivosti a snižování výrobních nákladů.

Principiálně odlišné technologie hrají marginální roli a nejspíše tomu ani v dohledné budoucnosti nebude jinak. Zásadně odlišné varianty VtE (jiný počet listů rotoru, VtE s vertikální osou rotace – Savoniovy, Darreiovy, aj.) byly již vesměs zkoumány a nejeví se, že by u velkých pevninských VtE dokázaly poskytnout zásadní technologickou výhodu. Nelze sice vyloučit, že některé z těchto technologií v budoucnu ještě najdou své uplatnění, ale z hlediska zásadních okolností (efektivita využití energie, viditelnost v krajině, cena vyrobené energie či variabilita výroby v čase) zde nejspíše nelze očekávat nějaký zásadní průlom. Obor malých VtE je limitován nižšími rychlostmi větru blízko zemského povrchu, relativně vysokými náklady na vyrobenou energii a jinými omezeními. Teoreticky velký potenciál by mohly mít létající VtE, není však jasné, zda se těmto technologiím podaří překonat základní ekonomické a praktické bariéry (například bezpečnost) a jejich masivnější využití se ze současné perspektivy nejeví být v dohledu. Největší rozvoj je v posledním desetiletí patrný v oboru mořských VtE, kde se již podařilo překonat počáteční technologické výzvy u VtE v mělkých mořích. Ty se tak stávají cenově konkurenceschopnými a intenzivní vývoj probíhá na poli plovoucích VtE pro použití ve větších hloubkách. Tyto technologie však pochopitelně nejsou pro naše území relevantní. Pro účel této studie je tedy nadále plně postačující zabývat se výhradně potenciálem „klasických“ velkých VtE.

Základními projevy technologického vývoje VtE je tedy růst jejich velikosti a pokles ceny vyrobené energie. Pokles výrobních nákladů je dán zejména právě růstem velikosti, který umožňuje dosažení vyšších a stabilnějších rychlostí větru ve větších výškách a úsporu při výstavbě infrastruktury, údržbě VtE, projektování apod. K relativnímu poklesu cen také přispívá konkurence mezi výrobci a zdokonalující se technologické postupy.

Dalším trendem je rozšiřování spektra vyráběných VtE. Vedle úplné divergence technologií určených k použití na moři a na pevnině nyní většina výrobců nabízí VtE různých rozměrů (menší VtE jsou zpravidla konstruovány z důvodu prostorových, výškových či dopravních omezení) a VtE pro použití do různě větrných lokalit. Ve vztahu k větrnosti lokality se VtE liší jednak odolností konstrukce, ale také poměrem mezi instalovaným výkonem VtE a velikostí jejího rotoru (hustotou výkonu) – viz vysvětlení níže.

Tab. 5 ukazuje, jak v průběhu posledních dvou desetiletí docházelo k systematickému nárůstu velikosti i výkonu VtE, s mírným zpomalením trendu před rokem 2010 a mírným zrychlením poté. Je patrné, že vedle růstu rozměru docházelo k též poklesu hustoty výkonu VtE, což se projevovalo mimo jiné růstem kapacitního faktoru nových VtE. Nutno upozornit, že jde o parametry turbín pro méně větrné vnitrozemské lokality, u silně větrných míst by byl pokles typické hustoty výkonu VtE podstatně slabší.



	průměr rotoru [m]	výkon [kW]	hustota výkonu VtE [W/m <sup>2</sup> ]
1995	40	500	398
2000	60	1000	354
2005	75	1500	340
2010	90	2000	314
2015	115	2800	270
2020*	130	3400	256
2025*	150	4500	255

**Tab. 5:** Typické parametry VtE pro podmínky České republiky (hodnoty nedopovídají konkrétnímu modelu VtE a nejsou uvažovány případy, kdy je z nějakého důvodu postaven menší než optimální typ VtE - místní omezení, repasované turbíny, apod.). Typické výšky stožáru VtE jsou zhruba srovnatelné s průměrem rotoru.

\*Odhadované údaje pro roky 2020 a 2025 vycházejí z nabídek výrobců a z informací o parametrech plánovaných projektů VtE zejména na území Německa.

Výška stožáru do jisté míry závisí na průměru rotoru. V typickém případě je výška stožáru podobná jako průměr rotoru (dolní úvrať rotoru je tak přibližně v polovině stožáru a celková výška VtE je 1,5násobkem výšky stožáru), v konkrétních případech se však výšky stožáru mohou výrazně lišit. V méně větrných a/nebo rovinatých lokalitách se obvykle vyplatí využít spíše vyšších stožárů, aby bylo možno využít lepší větrné podmínky ve větších výškách nad zemí. Zvláště důležitá je pak dostatečně velká výška u VtE v lesích či jejich okolí, kde je vhodné se vyhnout nepříznivým vlastnostem proudění nad korunami stromů. Stožáry zde mohou být i o několik desítek metrů vyšší, než je průměr rotoru. Naopak v orograficky exponovaných místech či ve výrazně otevřeném terénu je přínos vyšších stožárů z různých důvodů menší. Relativně nižší stožáry VtE mohou být také vynuceny výškovými omezeními, například kvůli střetům s jinými technologiemi (např. radary) či krajinnému rázu. Za dolní hranici lze v současnosti považovat takovou výšku stožáru, která umožní výšku dolní úvrátě rotoru alespoň zhruba 15 m nad zemí v otevřeném terénu či 30 m nad korunami stromů v lesnatém terénu.

Obecně lze taktéž pozorovat, že v rámci spektra velikostí VtE roste výška stožáru pomaleji než velikost rotoru. Důvodem, je fakt, že přínos výšky stožáru je největší v menších výškách nad zemí, kde je nevyšší nárůst rychlosti větru s výškou a také je vhodné se co nejvíce vyhnout turbulentnímu a jinak problematickému proudění nízko nad povrchem. Pokud se již celý rotor nachází vysoko nad zemským povrchem, pak se přínos dalšího zvýšení stožáru vůči navíc vynaloženým nákladům relativně snižuje (byť i zde platí, že se podmínky s růstem výšky nad zemí zlepšují).

### 3.2.1.1. Hustota výkonu VtE a její implikace

Pojmem *hustota výkonu VtE* se v kontextu této studie rozumí poměr mezi nominálním (= maximálním, instalovaným) výkonem VtE a plochou opisovanou rotorem VtE. Například při stejné ploše rotoru VtE má VtE s vyšším nominálním výkonem vyšší hustotu výkonu, naopak při stejném nominálním výkonu má VtE s větší plochou rotoru nižší hustotu výkonu. Hodnoty hustoty výkonu VtE se udávají ve W/m<sup>2</sup>. Jde o zásadní a často opomíjený parametr, který určuje, kde je vhodné danou VtE použít a jak se bude chovat.

Pro VtE platí, že v rozmezí klíčových rychlostí větru (cca od 5 m/s do rychlostí, kdy se výkon VtE blíží výkonu nominálnímu) roste výkon VtE přibližně úměrně třetí mocnině (okamžitě) rychlosti větru. Z toho plyne, že využití energie proudění vzduchu procházejícího rotorem VtE je v této oblasti zhruba stabilní, pro většinu moderních velkých VtE podobné a pohybuje se okolo 45 %. Po dosažení nominálního výkonu již výkon VtE nemůže s rychlostí větru dále narůstat a část potenciálně využitelné energie proudění procházejícího rotorem tak zůstane nevyužita. Rychlost větru, kde se výkon přiblíží výkonu nominálnímu, je dána právě hustotou výkonu VtE: VtE s vyšší

hustotou mohou plně využít energii větru i při vyšší rychlosti než VtE s nižší hustotou výkonu. Při stejné velikosti tak dokáže VtE s vyšším výkonem (a tedy vyšší hustotou výkonu) celkově vyrobit více energie, avšak výhradně během situací s vysokými rychlostmi větru:

- pokud je VtE instalována do málo větrné lokality, pak je přínos vyšší hustoty výkonu VtE malý, neboť vysoké rychlosti větru, kde se zvýšený výkon VtE v plné míře uplatňuje, se vyskytují zřídka. Obvykle nemá smysl pro takto malý přínos investovat do výkonnějšího generátoru a souvisejících prvků (trafo, vyvedení výkonu atd.),

- ve větrnějších lokalitách přínos vyšší hustoty výkonu VtE může být nezanedbatelný a vzhledem k ostatním nákladům na konstrukci VtE (věž, listy atd.) má proto smysl více využít dostupnou energii skrze výkonnější generátor.

Vedle uvedeného má volba mezi VtE o různé hustotě výkonu další konsekvence. Kapacitní faktor (využití výkonu) VtE klesá (při shodných větrných podmínkách) s rostoucí hustotou výkonu VtE. Při použití VtE s vyšší hustotou výkonu je proto:

- pro stejné množství vyrobené energie nutno připojit k elektrické síti celkově vyšší výkon VtE,
- vyrobená energie relativně více rozkolísaná,
- relativně více energie vyráběno v době nejvyšších rychlostí větru, tedy v okamžicích, kdy lze (při vysokém zastoupení větrné energie v energetickém mixu) očekávat spíše nadbytek výroby.

Energie získaná zvýšením výkonu VtE má tak v průměru nižší hodnotu než ostatní energie z VtE a celkově má nepříznivý průběh ve vztahu k integraci vyrobené energie do elektrické sítě (viz též [kap. 4.4](#)). Naopak VtE s nižší hustotou výkonu umožňuje snazší vyvedení výkonu a lepší integraci vyrobené energie do elektrické sítě, avšak za cenu toho, že využije menší podíl energie procházející rotorem VtE. Je-li tedy hlavním limitem využití energie větru integrace do elektrické sítě, pak lze očekávat spíše tendenci k výstavbě VtE s relativně nižší hustotou výkonu. Naopak je-li hlavním limitem dostupnost vhodných lokalit, pak je cílem spíše co nejvíce využít dostupnou energii, kdekoli je možno VtE realizovat, a očekávat lze spíše tendenci k výstavbě VtE s relativně vyšší hustotou výkonu. Klíčovým faktorem při volbě technologie nicméně stále zůstává taktéž větrnost daného místa. Viz též [tab. 6](#).

	VtE s nízkou hustotou výkonu	VtE s vysokou hustotou výkonu
nominální výkon při stejné velikosti rotoru	nižší	vyšší
velikost rotoru při stejném nominálním výkonu	větší	menší
vhodné lokality	méně větrné	více větrné
kapacitní faktor (využití výkonu) ve stejném místě	vyšší	nižší
využití potenciálu lokality	nižší	vyšší
integrace do elektrické soustavy	snazší	obtížnější
v čem jsou výhodné	"užitečnost" elektřiny	objem elektřiny

**Tab. 6:** Přehled rozdílů mezi VtE s nižší a vyšší hustotou výkonu

Ve vztahu k možnosti volby mezi variantami VtE o nižší či vyšší hustotě výkonu je nutno upozornit na dvě časté chyby, kterých se často dopouštějí nejrůznější aktéři (nejen) v souvislosti s větrnou energetikou:

1) Nelze dobře poměřovat VtE pouze na základě jejich nominálního výkonu. Množství vyrobené větrné energie totiž závisí nejen na výkonu VtE, ale též na jejím kapacitním faktoru, který se mezi různými projekty značně liší v závislosti na hustotě výkonu VtE, větrnosti lokality a různých provozních okolnostech.

2) Nelze dobře poměřovat kvalitu či výnosnost VtE na základě jejich kapacitního faktoru (využití výkonu), neboť ten silně závisí na hustotě výkonu použitého typu VtE.

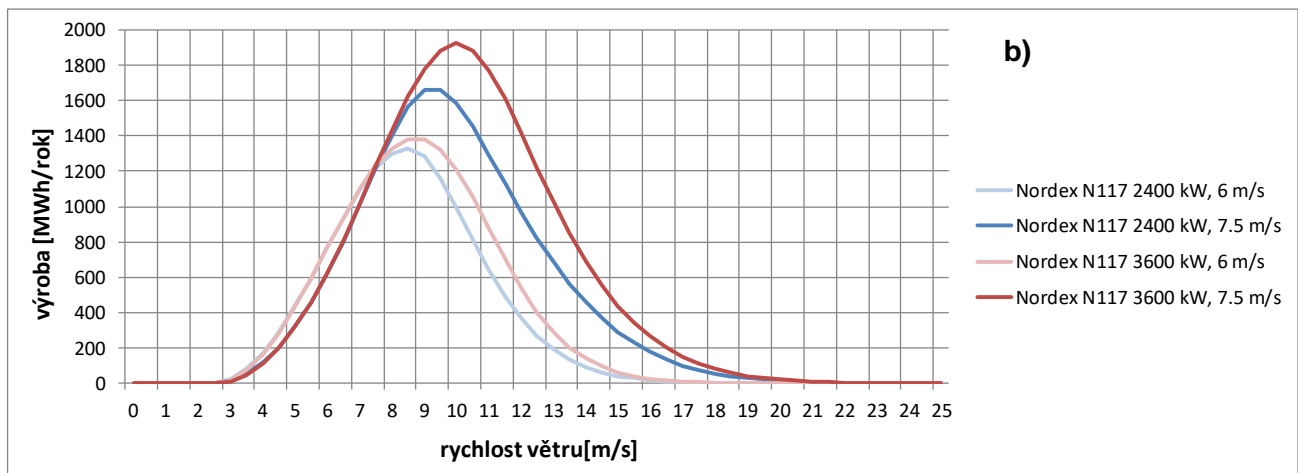
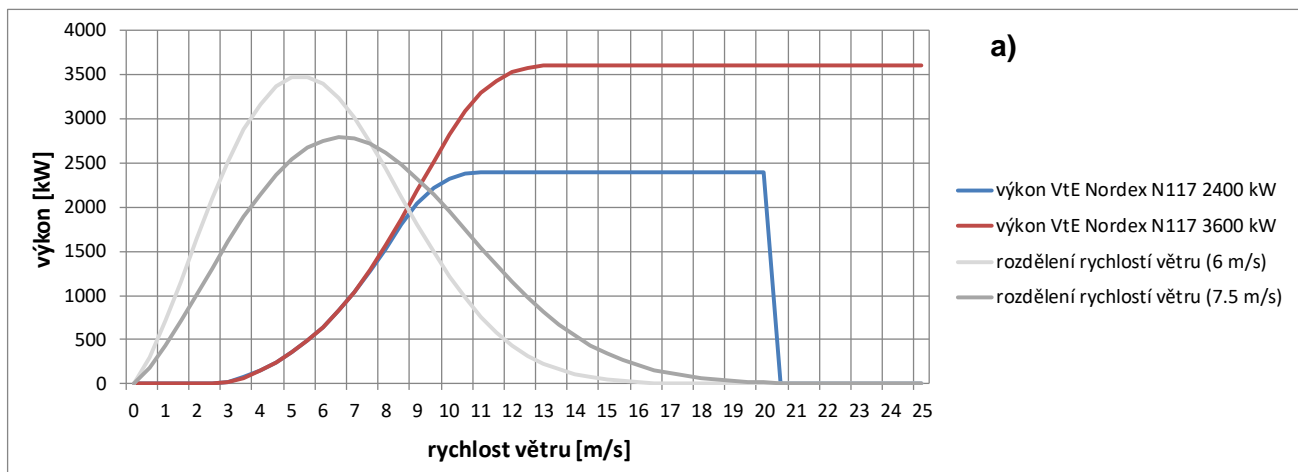
Jak nominální výkon VtE, tak jejich kapacitní faktor lze často volbou technologie značně zvyšovat či snižovat, aniž by to nějak zásadně měnilo hodnotu větrné farmy či objem vyrobené energie.

Skutečně relevantním měřítkem pro porovnání ve větrné energetice mohou být:

- celková výroba energie,
- kombinace výkonu VtE a kapacitního faktoru (= výroba energie),
- kombinace větrnosti lokality, rozměru VtE (více podstatné), jejího výkonu (méně podstatné) a případně dalších vlastností lokality – námraza, environmentální omezení atd.

Praktickou ukázkou, jak vypadají výkonové křivky a výroby energie VtE s různou hustotou výkonu, lze demonstrovat na příkladu elektrárny Nordex N117 (s průměrem rotoru 117 m). Jestliže je použita verze s málo výkonným generátorem 2,4 MW (tedy s hustotou výkonu VtE 224 W/m<sup>2</sup>), dochází k zastavení nárůstu výkonu při rychlosti větru okolo 10 m/s. V případě verze s generátorem o výkonu 3,6 MW (tedy s hustotou výkonu VtE 336 W/m<sup>2</sup>) výkon VtE dosahuje maxima až při rychlosti větru okolo 12 m/s. Z porovnání výkonových křivek ([obr. 3a](#)) je zřejmé, že při rychlosti větru do cca 9 m/s je výkon obou VtE přibližně stejný, přínos použití výkonnějšího generátoru se projevuje výhradně při vyšších rychlostech. Navíc, vzhledem k tomu, že verze 2,4 MW je logicky určena do méně větrných míst, je i její celkový design méně robustní, a proto dochází k přerušení jejího provozu již při rychlostech větru okolo 20 m/s, zatímco u verze 3,6 MW je to až při rychlosti větru okolo 25 m/s.

Dopad na velikost celkové výroby v různě větrných lokalitách je demonstrován na [obr. 3b](#) a v [tab. 7](#). Je patrné, že v méně větrné lokalitě (průměrná rychlost větru v ose rotoru 6 m/s) je přínos zvýšení výkonu generátoru z 2,4 na 3,6 MW (tedy o 50 %) podstatně nižší (6,0 m/s, přínos 904 MWh/rok, resp. 12,2 %) než v silně větrné lokalitě (7,5 m/s, přínos 2334 MWh/rok, resp. 21,7 %). V absolutní hodnotě je tak přínos silnějšího generátoru při průměrné rychlosti větru 7,5 m/s více než 2,5násobný než v místě s průměrnou rychlostí 6 m/s. Zatímco v prvním případě se tedy investice do výkonnějšího generátoru a souvisejících zařízení pro takto malý nárůst výroby nejspíše nevyplatí, v druhém případě tato investice nejspíše smysl dávat bude. (Uvažovány jsou hodnoty hrubé výroby energie, v případě reálné výroby energie však bude situace analogická.)



**Obr. 3** Ukázka rozdílů mezi VtE o různé hustotě výkonu na příkladu VtE Nordex N117 o výkonech 2,4 MW a 3,6 MW. Větrné podmínky jsou definovány Weibullovým rozdělením rychlostí větru o průměrné rychlosti 6 a 7,5 m/s a parametru ( $k$ ) tvaru rozdělení 2,3.

a) Rozdělení rychlostí větru a výkonové křivky VtE

b) Rozdělení (hrubé) výroby energie (viz též tab. 7)

	6 m/s		7,5 m/s	
	výroba [MWh/rok]	kapacitní faktor	výroba [MWh/rok]	kapacitní faktor
Nordex N117 2400 kW	7404	35,2 %	10778	51,2 %
Nordex N117 3600 kW	8308	26,3 %	13112	41,5 %

**Tab. 7** Hrubá výroba energie větrnou elektrárnou Nordex N117.

Pozn.: Termín „hustota výkonu“ se používá i v řadě jiných souvislostí, je proto nutno mít na zřeteli, o jaký kontext se jedná. V oboru větrné energetiky se například běžně pracuje například s „hustotou výkonu“ proudění vzduchu, což je kinetická energie vzduchu, který projde za jednotku času jednotkovou plochou kolmou na směr proudění. Níže v této studii se také uvažuje „územní hustota výkonu VtE“, kde se souhrnný výkon VtE vztahuje k ploše území, na kterém se nacházejí.

### 3.2.2 Uvažované typy VtE a jejich parametry

Projektovat vývoj technologie do budoucna je pochopitelně obtížné. Například u všech minulých studií byla předpokládána spíše stabilizace rozměru VtE na úrovni největších tehdy plánovaných VtE. Určitá skepse vycházela mimo jiné z toho, že fundamentálně by měla s růstem rozměru VtE růst jejich hmota rychleji (s třetí mocninou rozměru) než výroba energie (s druhou mocninou rozměru). Ve skutečnosti se dosud daří technologickou evolucí tyto limity překonávat. V posledních několika letech je patrný další podstatný nárůst rozměru nabízených typů VtE, přičemž stále zpravidla platí, že největší typy VtE vedou k nejnižším nákladům na vyrobenou energii. To se netýká pouze mořských turbín, kde jsou úspory z rozsahu nejvíce patrné, ale i VtE na pevnině, a to zvláště v méně větrných lokalitách.

Podle dostupných informací lze i v nejbližších letech očekávat pokračování trendu ke zvětšování rozměru VtE. Odhadovat vývoj do vzdálenější budoucnosti je problematické, nicméně s ohledem na dosavadní vývoj se jeví být pravděpodobné, že typický rozměr VtE může i v podmínkách České republiky dále narůstat, byť možná pomalejším tempem. Limitem může být případná tendence administrativně omezovat rozměry VtE, v některých případech též dopravní dostupnost lokality s ohledem na dopravu velkých komponent VtE.

Z hlediska vývoje typické hustoty výkonu VtE záleží na tom, zda bude rozhodujícím limitem dostatek vhodných lokalit, nebo integrace vyrobené energie. Vzhledem k tomu, že nedostatek lokalit se nyní jeví jako kritičtější problém, lze z dnešní perspektivy očekávat spíše stagnaci typické hustoty výkonu VtE (v českých podmínkách zhruba okolo 250 W/m<sup>2</sup>) nežli její další pokles.

Na základě této úvahy byly pro jednotlivé scénáře zvoleny modelové typy VtE (tab. 8). Ty odpovídají odhadovaným parametrům VtE pro území České republiky v letech 2025 až 2040. Reálně lze samozřejmě očekávat použití různorodých typů a velikostí VtE v závislosti na charakteru a možnostech jednotlivých projektů; modelové typy reprezentují předpokládaný průměrný stav.

konzervativní scénář	výkon [kW]	průměr rotoru [m]	výška stožáru [m]	hustota výkonu VtE [W/m <sup>2</sup> ]	výška dolní úvratě nad zemí [m]	celková výška [m]
nížina	4200	150	130	238	55	205
vrchovina	3000	120	100	265	40	160
horské polohy	3000	110	90	316	35	145

optimistický scénář	výkon [kW]	průměr rotoru [m]	výška stožáru [m]	hustota výkonu VtE [W/m <sup>2</sup> ]	výška dolní úvratě nad zemí [m]	celková výška [m]
nížina	5500	180	160	216	70	250
vrchovina	5000	160	140	249	60	220
horské polohy	4500	140	120	292	50	190

**Tab. 8:** Parametry uvažovaných typů VtE. Výška stožáru se vztahuje k otevřeným lokalitám bez významného zastoupení vzrostlých porostů či jiných překážek.

Na rozdíl od předchozích studií byly parametry budoucích VtE vymezeny odlišně pro scénář konzervativní a optimistický. Zatímco v optimistickém scénáři je předpokládáno převážně použití takových typů VtE, které jsou pro danou lokalitu z technického a ekonomického pohledu nejvýhodnější, scénář konzervativní předpokládá, že rozměr VtE bude více limitován různými omezeními vyplývajícími z povolovacího procesu, a modelové typy VtE jsou proto menší.

Dalším novým dělicím kritériem je rozlišení různých typů VtE pro různé typy lokalit v České republice. Jsou vymezeny tři modelové typy lokalit:

i) *nížina* reprezentuje místa v rovinnatém a otevřeném terénu. V podmínkách České republiky jde o místa s relativně nižšími rychlostmi větru, výhodou však je vedle relativně vyšší hustoty



vzduchu též v průměru nižší komplikovanost projektů, výstavby a provozu VtE. V nížinném terénu se relativně nejvíce uplatní výhoda větší výšky VtE a současně zde lze očekávat nejmenší omezení velikosti VtE z titulu krajinného rázu, dopravní dostupnosti či kapacity elektrické sítě, proto jsou zde v obou scénářích uvažovány největší rozměry VtE,

ii) *vrchovina* reprezentuje místa ve vyvýšených polohách českých vrchovin. Jde o nejtypičtější místa pro výstavbu VtE v České republice a tyto lokality tvoří většinu území, které bylo v původní studii (Hanslian a kol., 2007) vymezeno jako ekonomicky rentabilní pro výstavbu VtE (obr. 2). Typické rychlosti větru jsou zde vyšší než v nížinných lokalitách, je zde ale mírně nižší hustota vzduchu, častější výskyt námrazy a v průměru lze očekávat více nákladů a komplikací spojených s projektováním, výstavbou a provozem VtE. Tyto lokality jsou obvykle více citlivé z hlediska krajinného rázu než lokality v nížině, což u konzervativního scénáře vede k odhadu podstatně nižších průměrných rozměrů VtE než v nížině. Předpokládané rozměry VtE jsou v konzervativním scénáři pouze mírně nad rozměry VtE realizovaných v České republice během posledních let. Menší průměrný rozměr VtE než v nížinách je uvažován i v optimistickém scénáři, primárně ovšem z důvodu četnějších technických omezení (doprava, střety s jinými technologiemi),

iii) *horské polohy* reprezentují lokality v relativně nejvýše položených a/nebo exponovaných polohách. Jde především o místa v hřebenových partiích Krušných hor a v malé míře též v okrajových částech některých dalších pohoří, typicky v nadmořských výškách mezi 700 a 1000 m. Celkově tvoří výrazně menšinou část lokalit. Vyznačují se relativně nejvyššími rychlostmi větru, ale též nejnižší hustotou vzduchu a nejvyššími náklady a komplikacemi spojenými s námrazou a dalšími okolnostmi. Z důvodu nejvíce problematické dopravní dostupnosti a technické náročnosti jsou v optimistickém scénáři uvažovány menší průměrné rozměry VtE než u vrchovin. V konzervativním scénáři je hlavním limitem povolovací řízení a také z tohoto pohledu je na horách uvažován ještě mírně menší rozměr než na vrchovinách.

Na rozdíl od dosavadních instalací VtE je u všech variant uvažována v průměru nižší výška stožárů, než je průměr rotoru, důvody se však v různých případech liší a nejsou v rozporu s dosavadní praxí:

- u největších typů VtE je výška stožáru v absolutní hodnotě dosti velká i v případě, že je mírně menší než průměr rotoru. U takto velkých výšek již ekonomický přínos větší výšky rotoru nad povrchem nemusí být tak zásadní, jako u menších výšek, a současně jsou při tomto rozměru i dolní úvratě rotoru VtE v dostatečné výšce nad povrchem. To se týká zejména optimistického scénáře a nížin,

- zejména v případě konzervativního scénáře na vrchovinách a v horských polohách je uvažováno, že řada projektů bude z různých důvodů limitována celkovou výškou VtE a bude nucena použít nižší než optimální výšku stožáru,

- část lokalit v horských polohách a vrchovinách se nachází ve vrcholových polohách (např. terénní hrany, hřebeny), kde je nárůst rychlosti větru s výškou, a tedy i přínos vyšších stožárů, spíše menší.

Výšky stožárů VtE v [tabulce 8](#) odpovídají lokalitám mimo lesní porosty. V případě VtE v lese či v krajině s velkým zastoupením lesů či rozptýlené vegetace lze předpokládat použití vyšších stožárů než v otevřených polohách. To je motivováno či vynuceno zejména větrnými podmínkami (větší nárůst rychlosti větru s výškou, nepříznivé vlastnosti proudění nízko nad porosty). Současně je v lesnaté krajině v průměru nižší viditelnost VtE, a větší výška VtE by proto mohla být i více akceptovatelná. Tendence k použití vyšších stožárů v lesích odpovídá i zahraniční praxi. Větší skutečná výška stožárů VtE v lesích či jejich okolí není v této ani v předchozích studiích převážně přímo zmiňována, je však zohledněna jiným způsobem:

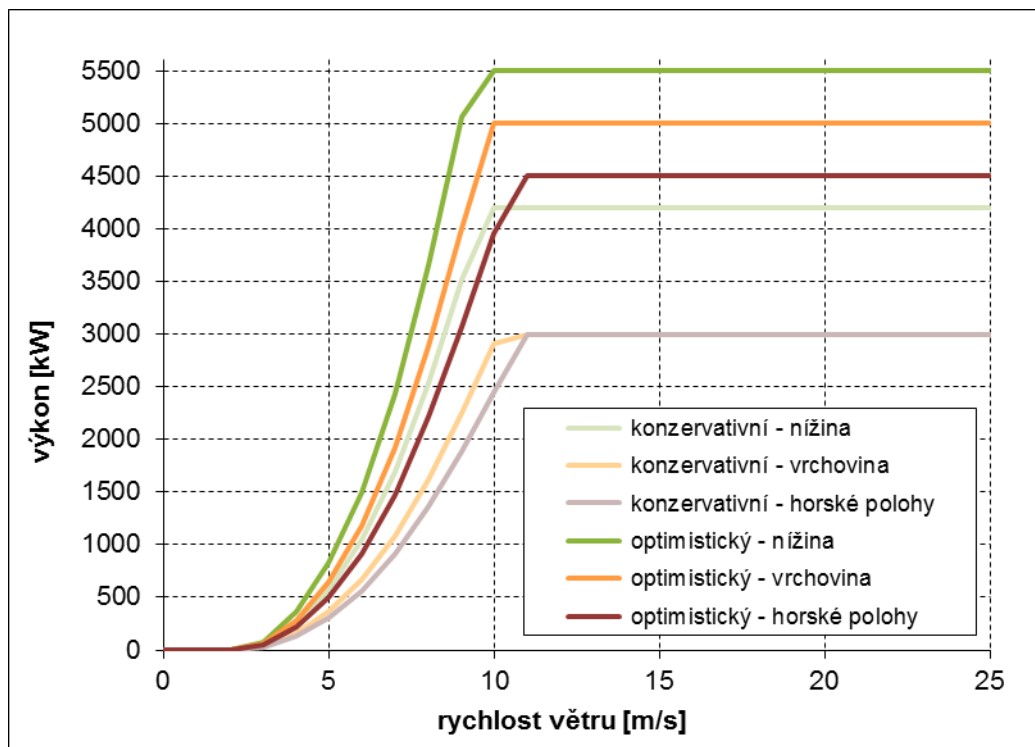
- v primárním výpočtu větrné mapy nebyla uvažována výška lesního porostu ani některé další negativní vlivy lesních porostů na proudění. Skutečná rychlost větru je nad lesními porosty nižší, než vyplývá z větrné mapy, a to zejména v menších výškách nad povrchem. Výroba energie, kterou dává modelový výpočet, je ve skutečnosti dosažena ve větší výšce nad zemí a předpokládá tak vyšší VtE, než mimo les,

- zvýšené náklady na vyšší VtE v lese jsou reflektovány navýšením limitu průměrné rychlosti větru nutné k ekonomické rentabilitě větrných elektráren v lesích nebo v jejich blízkosti.

Určitou slabinou použitého postupu je fakt, že v případě velkých typů VtE se ve srovnání s menšími VtE negativní dopad lesů relativně snižuje, neboť rotor VtE je již poměrně vysoko nad lesním porostem. Použité korekce pro hranici rentability jsou v tomto případě již příliš konzervativní a reálně zde lze očekávat lepší ekonomiku VtE, než vyplývá z původního výpočtu, a tedy i větší rozsah ekonomicky rentabilního území. V praxi se to týká zejména vrchovinných lokalit v optimistickém scénáři, neboť v dostatečně větrných nížinách je podíl lesa nevelký a ostatní varianty (konzervativní scénář a horské oblasti v optimistickém scénáři) předpokládají nižší výšky VtE. Tato skutečnost je zohledněna v rámci regionálních korekcí v [kap. 3.4](#).

Nominální výkon VtE je uvažován na takové úrovni, aby reflektoval typické větrné podmínky v dané oblasti. Ve více větrných oblastech je proto uvažována relativně vyšší hustota výkonu VtE než v oblastech méně větrných ([kap. 3.2.1](#)). Přestože jsou tedy v nižších polohách uvažovány větší VtE, jejich výkon není proporcčně větší. U konzervativního scénáře je uvažována celkově mírně vyšší hustota výkonu VtE než u scénáře optimistického, neboť v konzervativním scénáři bude zřejmě hrát relativně vyšší roli vytěžení potenciálu těch VtE, které bude možno realizovat, zatímco v optimistickém bude nutno brát větší ohled na možnosti vyvedení výkonu a integrace vyrobené elektřiny. Celkově jsou ale uvažované hustoty výkonu VtE přibližně na úrovni současnosti. Na rozdíl od úvahy ve studii ([Chalupa a Hanslian, 2015](#)) tedy není předpokládán další výrazný posun k nižším hustotám výkonu, neboť s ohledem na aktuální vývoj se jeví, že i v optimistickém scénáři budou zřejmě v našem regionu větším omezením prostorové limity než integrace vyrobené elektřiny (viz též [kap. 4.4](#)).

Na základě takto vymezených parametrů byly odhadnuty výkonové křivky příslušných VtE. Na rozdíl od minulých studií se nejedná o existující typ VtE, ale o fiktivní technologie, jejichž výkonové křivky byly odvozeny na základě většího počtu výkonových křivek skutečných VtE.



**Obr. 4:** Použité výkonové křivky

### 3.2.3 Aktualizace parametrů technického potenciálu

Aktualizace technických předpokladů pro tuto studii je provedena ve vztahu k předchozí aktualizaci technického potenciálu z roku 2012 (Hanslian a Hošek, 2012). Vůči prvotní studii z roku 2007 (Hanslian a kol., 2007) jde tedy o aktualizaci ve dvou krocích.

Studie z roku 2012 v porovnání s prvotní studií vycházela z použití větší VtE typu Vestas V112, 3 MW, předpokládala nižší rychlosti větru a větší odstupy od sídel (viz též kap. 2.4). Ve výsledku tak došlo k

- podstatnému snížení počtu VtE,
- snížení celkového instalovaného výkonu přibližně o 15 %,
- zachování celkové výroby energie na přibližně původní úrovni.

Nynější změny technických předpokladů vůči studii z roku 2012 jsou shrnuty v tab. 9:

konzervativní scénář	nížina			vrchovina			horské polohy		
	V112	nove	změna	V112	nove	změna	V112	nove	změna
nominální výkon [MW]	3	4.2	140.0%	3	3	100.0%	3	3	100.0%
průměr rotoru [m]	112	150	133.9%	112	120	107.1%	112	110	98.2%
výška věže [m]	120	130	108.3%	120	100	83.3%	120	90	75.0%
výkon/km <sup>2</sup> , odstupy 5D [MW]	9.57	7.47	78.1%	9.57	8.33	87.1%	9.57	9.92	103.7%
výkon/km <sup>2</sup> , odstupy 4,5D [MW/km <sup>2</sup> ]		9.22	96.4%		10.29	107.5%		12.24	128.0%
typická rychlost větru ve 120 m [m/s]	6.00	6.00		6.50	6.50		7.20	7.20	
typická rychlost větru v ose rotoru [m/s]	6.00	6.13	102.1%	6.50	6.22	95.7%	7.20	6.74	93.6%
hrubá výroba VTE [GWh/r]	7 337	12 975	176.8%	8 595	8 773	102.1%	10 191	8 848	86.8%
hrubá výroba na plochu [GWh/r/km <sup>2</sup> ]	23 397	28 478	121.7%	27 408	30 085	109.8%	32 498	36 110	111.1%
provozní ztráty [% výroby]	10.0%	14.0%	95.6%	10.0%	15.0%	94.4%	10.0%	17.0%	92.2%
ztráty vzájemným ovlivněním [% výroby]	6.8%	7.0%	99.8%	6.8%	7.0%	99.8%	6.8%	7.0%	99.8%
korekce průměrné větrnosti [% výroby]			98.0%			98.0%			98.0%
<b>počet VtE na plochu [VtE/km<sup>2</sup>]</b>	<b>3.2</b>	<b>2.2</b>	<b>68.8%</b>	<b>3.2</b>	<b>3.4</b>	<b>107.5%</b>	<b>3.2</b>	<b>4.1</b>	<b>128.0%</b>
<b>výkon na plochu [MW/km<sup>2</sup>]</b>	<b>9.6</b>	<b>9.2</b>	<b>96.4%</b>	<b>9.6</b>	<b>10.3</b>	<b>107.5%</b>	<b>9.6</b>	<b>12.2</b>	<b>128.0%</b>
<b>čistá výroba na plochu [GWh/r/km<sup>2</sup>]</b>	<b>19 625</b>	<b>22 321</b>	<b>113.7%</b>	<b>22 990</b>	<b>23 307</b>	<b>101.4%</b>	<b>27 259</b>	<b>27 316</b>	<b>100.2%</b>

optimistický scénář	nížina			vrchovina			horské polohy		
	V112	nove	změna	V112	nove	změna	V112	nove	změna
nominální výkon [MW]	3	5.5	183.3%	3	5	166.7%	3	4.5	150.0%
průměr rotoru [m]	112	180	160.7%	112	160	142.9%	112	140	125.0%
výška věže [m]	120	160	133.3%	120	140	116.7%	120	120	100.0%
výkon/km <sup>2</sup> , odstupy 5D [MW]	9.57	6.79	71.0%	9.57	7.81	81.7%	9.57	9.18	96.0%
výkon/km <sup>2</sup> , odstupy 4,5D [MW/km <sup>2</sup> ]		8.38	87.6%		9.65	100.8%		11.34	118.5%
typická rychlost větru ve 120 m [m/s]	6.00	6.00		6.50	6.50		7.20	7.20	
typická rychlost větru v ose rotoru [m/s]	6.00	6.47	107.8%	6.50	6.74	103.8%	7.20	7.20	100.0%
hrubá výroba VTE [GWh/r]	7 360	19 856	269.8%	8 620	17 670	205.0%	10 209	15 657	153.4%
hrubá výroba na plochu [GWh/r/km <sup>2</sup> ]	23 468	30 263	129.0%	27 487	34 086	124.0%	32 556	39 447	121.2%
provozní ztráty [% výroby]	10.0%	15.0%	94.4%	10.0%	16.0%	93.3%	10.0%	18.0%	91.1%
ztráty vzájemným ovlivněním [% výroby]	6.8%	12.0%	94.4%	6.8%	12.0%	94.4%	6.8%	12.0%	94.4%
korekce průměrné větrnosti [% výroby]			97.0%			97.0%			97.0%
<b>počet VtE na plochu [VtE/km<sup>2</sup>]</b>	<b>3.2</b>	<b>1.5</b>	<b>47.8%</b>	<b>3.2</b>	<b>1.9</b>	<b>60.5%</b>	<b>3.2</b>	<b>2.5</b>	<b>79.0%</b>
<b>výkon na plochu [MW/km<sup>2</sup>]</b>	<b>9.6</b>	<b>8.4</b>	<b>87.6%</b>	<b>9.6</b>	<b>9.6</b>	<b>100.8%</b>	<b>9.6</b>	<b>11.3</b>	<b>118.5%</b>
<b>čistá výroba na plochu [GWh/r/km<sup>2</sup>]</b>	<b>19 685</b>	<b>21 958</b>	<b>111.5%</b>	<b>23 056</b>	<b>24 440</b>	<b>106.0%</b>	<b>27 308</b>	<b>27 611</b>	<b>101.1%</b>

**Tab. 9:** Změny technických parametrů vůči předchozí studii (Hanslian a Hošek, 2012) a jejich dopad na velikost technického potenciálu. Ve výpočtu je zohledněna průměrná hustota vzduchu v dané nadmořské výšce.

Nově uvažované typy VtE mají ve většině variant vyšší nominální výkon, průměr rotoru i výšku stožáru než původní typ V112. Výjimkou jsou v konzervativním scénáři lokality na vrchovinách a v horských polohách, kdy jsou uvažovány VtE o stejném nebo podobném výkonu a průměru rotoru a s nižší výškou stožáru než ve studii z roku 2012. Z hlediska větrného potenciálu je podstatným parametrem zejména výška věže, kdy vyšší VtE využívají vyšších rychlostí větru ve větších výškách nad povrchem. Nárůst rychlosti větru s výškou předpokládaný v [tab. 9](#) odpovídá otevřeným lokalitám, nad lesy by byl ještě podstatně vyšší. To je u vyšších typů VtE reflektováno rozšířením ekonomicky vhodného území v lesích – viz [kap. 3.2.2](#) a [kap. 3.4](#). Díky větším rozměrům dosahují nově uvažované VtE pochopitelně i vyšší výroby energie; v případě největších typů VtE je tento rozdíl vůči typu V112 dosti značný.

Pro korekci technického potenciálu je ovšem podstatnější přepočtení hrubé výroby energie na jednotkovou plochu území (respektive její změna vůči předchozí studii) než výroba jedné VtE. V tomto ohledu je klíčovým parametrem vzájemný odstup mezi VtE. Spíše vynuceným trendem, který je možno sledovat v zemích s hustou sídelní strukturou, a tedy omezeným prostorem pro VtE, je proti minulosti vyšší koncentrace VtE. Ty se umísťují do kompaktnějších větrných farem, které díky menším relativním odstupům mezi VtE umožňují vyšší výrobu energie na daném prostoru a menší zatížení krajinného rázu než extenzivní výstavba VtE. Nevýhodou je ovšem větší vzájemné ovlivnění VtE.

V rámci nynějšího výpočtu technického potenciálu byl proto uvažován typický odstup VtE v rámci větrné farmy na úrovni 4,5násobku průměru rotoru namísto 5násobku průměru rotoru uvažovaného v předchozích studiích. Technický potenciál VtE je na vrub této změny korigován úměrně ke změně tímto definované plošné hustoty VtE. To není zcela přesné, neboť takový předpoklad by platil v případě nekonečné větrné farmy; zejména u menších větrných farem bude reálný dopad této změny menší a v případě soliterních VtE nulový. Na druhou stranu však lze u menších farem a zejména u soliterních VtE uvažovat pozitivní efekt větší jednotkové velikosti VtE, kdy se počet VtE s růstem jejich velikosti snižuje méně, než vyplývá z aplikované nepřímé úměry. Je uvažováno, že se tyto nepřesnosti v celkovém pohledu navzájem přibližně vykompenzují a korekce na plošnou hustotu VtE zhruba parametrizuje souhrnný dopad obou pozitivních okolností, tedy snížení relativních rozestupů mezi VtE a zvětšení jejich rozměrů.

Z přehledu vyplývá, že aktualizované technické parametry VtE vedou k nárůstu hrubé výroby energie z jednotky území o cca 10 - 20 % v konzervativním scénáři a o cca 20 – 30 % ve scénáři optimistickém. Hrubou výrobu energie je nutno dále korigovat na vrub výrobních ztrát a dalších okolností (viz další odstavce).

Negativním následkem shlukování VtE do větších a kompaktnějších větrných farem je vyšší vzájemné ovlivnění VtE, respektive vyšší ztráta z něj vyplývající. Současně se na základě nových zkušeností i teoretických poznatků ukazuje, že vzájemné ovlivnění VtE v rámci velkých větrných farem či mezi větrnými farmami je často vyšší, než naznačují běžně používané modely. Je nutno uvažovat i skutečně velkoprostorový vliv VtE, kdy rozsáhlá výstavba VtE může mírně snížit celkovou větrnost na velkém území, což běžné modely nezohledňují téměř vůbec (viz též [kap. 4.2](#)). Na druhou stranu v primárním výpočtu nebyla uvažována redukce vzájemného ovlivnění při přepočtu z technického na realizovatelný potenciál. V souhrnu je nyní uvažována průměrná ztráta na vrub vzájemného ovlivnění VtE ve výši 7 % v konzervativním a 12 % v optimistickém scénáři. V konzervativním scénáři je tak uvažována stejná ztráta na vrub vzájemného ovlivnění VtE jako v minulosti, zatímco v optimistickém scénáři je tato ztráta nyní předpokládána zhruba o 5,5 % vyšší. Jde samozřejmě o ztráty vztahující se k realizovatelným scénářům; při hypotetické realizaci technického potenciálu by byly mnohem vyšší.

Další okolností, která negativně ovlivňuje výrobu VtE, jsou ztráty související s provozem VtE. Jde například o technickou dostupnost zařízení, elektrické ztráty, vliv námrazy, nucené odstavení VtE z nejrůznějších důvodů či dopad různých technických a provozních nedokonalostí. Na základě nových praktických poznatků jsou nyní tyto ztráty uvažovány na vyšší úrovni, než bylo dříve předpokládáno. Jde jednak o technické ztráty, nezanedbatelný dopad ale mohou mít také četnější omezení vyplývající ze zákonných omezení či povolovacího řízení. Jde



například o redukci výroby pro zamezení nadměrným hlukovým emisím či stroboskopickému efektu nebo o provozní omezení pro ochranu netopýrů či ptáků. Vyšší ztráty lze v průměru očekávat v horských polohách (námraza, problematictější vlastnosti proudění) a v optimistickém scénáři (vyšší podíl výstavby VtE v místech, kde budou nutná environmentální omezení). Na vrub uvedeného je nyní uvažována v závislosti na variantě o 4 – 9 % vyšší redukce výroby než v předchozích odhadech technického potenciálu (předpokládané ztráty byly navýšeny z původních 10 % na 14 – 18 %).

V předchozí aktualizaci technického potenciálu bylo diskutováno, že původně uvažovaný minimální odstup VtE od osídlení ve výši 500 m je podhodnocený a na vrub této skutečnosti byl technický potenciál VtE ve všech parametrech redukován o 5 %. Tento předpoklad zůstává beze změny i v nynější aktualizaci.

Okolností, která byla taktéž diskutována již při minulé aktualizaci větrného potenciálu, je přesnost použité větrné mapy. Ta je z pohledu průměrné rychlosti větru nejspíše mírně nahodnocená, a to jednak z důvodu většího než původně předpokládaného ovlivnění některých referenčních měření větru polohou senzorů nad střechami budov či vrcholy stožárů, jednak z důvodu celkového poklesu větrnosti v průběhu posledních 15 let. Z důvodu konzervativnějšího odhadu větrnosti byla v minulé aktualizaci technického potenciálu uvažována redukce celkového počtu a instalovaného výkonu VtE o 10 % a výroby VtE o 11 %.

V rámci aktuální studie je uvažována další mírná redukce výroby VtE (při zachování počtu a instalovaného výkonu VtE) o 2 % v konzervativním a o 3 % v optimistickém scénáři. Tato korekce zohledňuje jednak ještě mírně konzervativnější pohled na celkovou větrnost, v optimistickém scénáři také zvýšení podílu lokalit v málo větrných územích, které se stávají díky velkým rozměrům VtE ekonomicky rentabilní. Na druhou stranu lze očekávat, alespoň po přechodnou dobu nejbližších několika desetiletí, nepatrné zlepšení větrných podmínek v některých lokalitách či regionech v důsledku nynějšího rozsáhlého hynutí lesů způsobeného suchem, teplem a škůdci. Obecný trend ke snižování či zvyšování větrnosti v důsledku probíhající klimatické změny není s ohledem na nejednoznačné výsledky klimatických modelů uvažován (viz též [kap. 4.2](#)).

Ve výsledku vůči studii z roku 2012 ([Hanslian a Hošek, 2012](#)) tedy dochází ke změně odhadovaných parametrů technického potenciálu (vztaženo k jednotce území), a to k:

- podstatným změnám celkového počtu VtE, které se liší pro jednotlivé varianty (větší VtE vedou k nižšímu počtu a naopak),
- různým změnám instalovaného výkonu VtE, konkrétně k jeho poklesu v méně větrných místech a nárůstu ve více větrných místech. To je dáno diferenciací typů VtE pro různé lokality, kdy pro méně větrná místa jsou použity typy VtE s nižší hustotou výkonu a naopak,
- spíše malým změnám celkové výroby energie, kdy je v nížinách očekáván spíše nárůst (čistě) výroby energie na jednotku plochy území a ve vyšších polohách naopak její pokles. Celkově výrobu navyšuje zejména nižší uvažovaný rozestup VtE (a výhoda větší jednotkové velikosti VtE), naopak podstatný negativní dopad mají vyšší předpokládané ztráty. Rozdíly mezi variantami jsou pak dány zejména různými výškami VtE (vyšší VtE vedou v nížinách a v optimistickém scénáři ke zvýšení výroby), ztrátami (vyšší ztráty vedou ke snížení výroby zejména v optimistickém scénáři a na horách), ale částečně je snižuje nižší uvažovaná hustota výkonu VtE na vrchovinách a zejména v nížinách, která zde vede k nižší výrobě energie na jednotku území (nicméně s vyšším kapacitním faktorem - viz též [kap. 3.2.1](#)).

Technický potenciál je fundamentálně limitován také rozsahem území, kde je předpokládána ekonomická rentabilita výstavby VtE. Kritériem je přitom průměrná rychlost větru: při podlimitní větrnosti se předpokládá, že o výstavbu VtE nebude v dané lokalitě zájem. Řada indikací naznačuje, že rozsah „ekonomicky vhodného“ území, jak bylo definováno v původní studii ([obr. 2](#)), dlouhodobě přibližně odpovídá reálnému zájmu o investice do VtE (byť zájem o lokality na dolní hranici předpokládané rentability je nižší než o výrazně větrné lokality). To je dáno konzistentní regulací výkupní ceny elektřiny z větru po celou dobu dosavadní podpory cca od roku 2003, kdy



podporovaná cena za elektřinu z větru pro nové projekty dlouhodobě klesala v souladu s poklesem výrobních nákladů.

Projektovat ekonomické podmínky do budoucna není z řady důvodů jednoduché, nicméně za střední scénář lze považovat variantu, že hranice rentability pro výstavbu VtE se bude i nadále převážně pohybovat na podobné úrovni jako v průběhu posledních 15 let. Určitou změnu mohou přinést největší typy VtE, které by mohly rozšířit rozsah ekonomicky vhodného území v místech, kde se nevíce uplatní výhody velké výšky VtE, tedy v lesích a v nížinných oblastech. Proto bylo uvažováno

- v konzervativním scénáři zachování rozsahu ekonomicky vhodného území s výjimkou malého navýšení jeho rozsahu v nížinách,
- v optimistickém scénáři navýšení rozsahu ekonomicky vhodného území v nížinách a v lesích (zejména v oblasti vrchovin).

Tyto změny jsou přibližně zohledněny v rámci regionálních korekcí v [kap. 3.4 \(tab. 11\)](#).

### 3.3. Nová aktualizace realizovatelných scénářů

Shodně jako v předchozích studiích ([kap. 2.3](#) a [2.4](#)) je realizovatelný potenciál definován prostřednictvím odhadované redukce počtu míst vhodných pro výstavbu VtE na základě těch faktorů, které v praxi realizovatelnost VtE limitují. Jde o

- souhlas obyvatel a obce, tedy o míru akceptace VtE,
- místní technická omezení, například z důvodů střetu s jinými technologiemi (například radary), lokální nedostupnost elektrické sítě (pokud ji nelze ekonomicky racionálním způsobem vyřešit) či problematickou dopravní dostupnost (dtto),
- výskyt míst (mimo zvláště chráněná území), kde z důvodu zvýšeného přírodního, kulturního či estetického významu není výstavba VtE vhodná.

Dále je uvažována silně snížená realizovatelnost VtE v přírodních parcích a oblastech Natura.

Poslední okolností, která je brána v úvahu, je limit na "hustotu" VtE v rámci území, a to především z důvodů akceptace VtE a ochrany krajinného rázu. Současně má toto kritérium za cíl částečně reflektovat limity kapacity elektrických sítí vyššího řádu. Daný počet VtE se vztahuje k ploše území o poloměru 15 km (tedy cca 700 km<sup>2</sup>), byť v praxi samozřejmě nebudou VtE rozloženy takto rovnoměrně.

redukce	způsob uplatnění	konzervativní	optimistický
1) souhlas obyvatel a obce	plošně - celá ČR	55 %	95 %
2) místní technická omezení	plošně - celá ČR	45 %	55 %
3) místa zvýšeného přírodního, kulturního či estetického významu	plošně - celá ČR	75 %	70 %
4a) lesy a přírodní plochy	plošně - dané území	50 %	100 %
4b) přírodní park	plošně - dané území	25 %	50 %
4c) Natura - ptačí oblast	plošně - dané území	25 %	50 %
4d) Natura - EVL	plošně - dané území	25 %	50 %
5) krajinný ráz a kapacita sítí	max. počet VtE v okruhu o poloměru 15 km	cca 30	cca 30

**Tab. 10:** Uplatňované redukce pro výpočet realizovatelného potenciálu (procenta ukazují podíl ponechaných VtE po aplikaci daného kritéria)

Nastavení kritérií je shrnuto v [tab. 10](#). Jednotlivé redukce se navzájem násobí, takže například pravděpodobnost realizovatelnosti VtE v lese (ale mimo oblasti, kde je nutno množství VtE dále

redukovat dle bodů 4b) až 5)) je v konzervativním scénáři uvažována na úrovni 55 % × 45 % × 75 % × 50 %, tedy přibližně 9 %.

Při interpretaci nastavených hodnot je nutno vzít v úvahu, že použitý výpočet předpokládá nezávislost jednotlivých kritérií. Tak tomu však není, neboť některá kritéria se částečně duplikují – například místa s horší akceptací budou nadprůměrně často totožná s místy zvýšeného přírodního, kulturního či estetického významu a s místy v přírodních parcích či oblastech Natura; v těchto místech navíc bude často i horší dostupnost infrastruktury. Současně pokud se aplikuje limit na "hustotu" VtE, pak lze předpokládat, že v rámci takto limitovaného území bude možno přednostně vybírat místa méně problematická z environmentálního či technického pohledu či místa s lepší akceptací VtE. Díky tomu musí být použité redukce slabší, než by byly v případě, pokud by byly uvažovány samy o sobě.

Konkrétně byla kritéria pro nynější konzervativní scénář zvolena shodně s kritérii pro střední scénář v rámci předchozích studií.

Optimistický scénář předpokládá naproti konzervativnímu scénáři především podstatně vyšší akceptaci větrných elektráren. Pozitivní postoj vůči VtE v tomto scénáři taktéž umožňuje vstřícněji řešit střety s jinými technologiemi a vstřícnější přístup lze očekávat i ve vztahu k vyvedení výkonu z VtE, mírně se proto redukuje i podíl lokalit s místními technickými omezeními. Zásadní je rozdíl pro lesní porosty, kde je v optimistickém scénáři předpokládána stejná realizovatelnost jako mimo les. V optimistickém scénáři je předpokládána také nižší redukce v přírodních parcích a oblastech Natura. Naopak redukce na vrub míst zvýšeného přírodního, kulturního či estetického významu se mírně navyšuje navzdory tomu, že optimistický scénář ve skutečnosti počítá s mírně vstřícnějším přístupem k povolování VtE. Důvodem je skutečnost, že řada nově uvažovaných lokalit může být environmentálně problematická.

Kritérium "maximální hustoty VtE" nebylo vůči předchozím studiím nově přepočítáváno, fakticky tak dochází k jeho korekci úměrné růstu velikosti VtE a změnám ostatních kritérií. Rozdíl mezi nížinami (kde lze očekávat méně problémů spojených s "hustotou" VtE) a vrchovinami či horskými polohami (které mohou být z tohoto pohledu problematictější), respektive mezi konzervativním a optimistickým scénářem, jsou nyní reprezentovány rozdílnými rozměry VtE. Velmi orientačně se tento limit ve všech variantách pohybuje okolo 30 VtE na 700 km<sup>2</sup>.

### 3.4. Nová aktualizace regionálního rozložení

Podobně jako v předchozí aktualizaci (Hanslian a Hošek, 2012) jsou i nyní uvažovány některé okolnosti, které mohou ovlivňovat velikost technického potenciálu i míru jeho realizovatelnosti rozdílně v jednotlivých regionech. Vesměs jde o okolnosti, které nelze objektivně vyčíslit, ale pouze odhadovat jejich skutečný dopad. Konkrétně jde o tyto okolnosti:

- z hlediska použité větrné mapy se podle dnešních poznatků jeví jako nejvíce nahodnocená širší oblast Českomoravské vrchoviny (zejména Vysočina a Jihomoravský kraj, částečně též Jihočeský a Pardubický kraj). Naopak oblasti nadhodnocené méně nebo vůbec lze nejspíše nalézt v západních Čechách nebo na severní Moravě (Plzeňský, Karlovarský, Moravskoslezský kraj),

- v optimistickém scénáři povede možnost realizace větších a vyšších VtE k rozšíření ekonomicky vhodného území v nížinách (největší přínos celkově velkého rozměru VtE) a v lesích mimo horské oblasti (největší přínos větší výšky VtE),

- z řady důvodů může být, zejména v konzervativním scénáři, obtížnější realizace projektů v regionech s hustší sídelní strukturou, v okolí větších měst a v oblastech využívaných ve zvýšené míře pro rekreaci. To se s ohledem na rozmístění potenciálních VtE týká zejména Středočeského, Jihočeského a Jihomoravského kraje a kraje Vysočina. Naopak vyšší realizovatelnost mohou mít z tohoto pohledu projekty v nížinách či v řídce osídlených pohraničních oblastech,

- vzhledem k ekonomické motivaci lze očekávat vyšší realizovatelnost projektů ve více větrných lokalitách vůči oblastem méně větrným, neboť vyšší výnosy mohou umožnit taková technická řešení či opatření, která by jinak nebyla možná,

- je reflektován dosavadní vývoj skutečných realizací VtE, který směřoval jednak spíše do nejvíce větrných a nejméně osídlených oblastí (zohledněno výše), a jednak do oblastí s nejmenší mírou překážek ze strany úřadů. Relativně nejvyšší míra realizace je dosud zejména v Karlovarském, Ústeckém, Libereckém a Olomouckém kraji, což je v malé míře reflektováno i v projekci budoucího vývoje (toto se uvažuje pouze v konzervativním scénáři),

- nynější hynutí lesů v důsledku sucha a škůdců nejspíše způsobí (respektive již způsobuje) nepatrné zlepšení větrných podmínek v nejvíce postižených lokalitách a regionech, zejména ve východní a jižní části České republiky, kde tím může dojít k mírnému rozšíření území s dostatečnou větrností.

Na základě uvedeného byl v jednotlivých krajích korigován potenciál VtE, a to shodně pro všechny parametry (počet, výkon, výroba). Velikost provedených korekcí pro jednotlivé kraje vůči automatickému odvození realizovatelného potenciálu dle [kap. 3.3](#), jsou uvedeny v [tab. 11](#).

V konzervativním scénáři aktuální studie počítá s celkově menšími korekcemi regionálního rozložení, než tomu bylo u předchozí aktualizace z roku 2012 ([tab. 4](#)). Nejvýraznější korekce pozitivním směrem (byť nižší než v minulé studii) je uvažována v Ústeckém kraji, kde lze očekávat relativně vyšší realizaci VtE v Krušných horách díky vysokým rychlostem větru a řídkému osídlení. S ohledem na dosavadní realizace je pozitivním směrem korigován také Karlovarský, Liberecký a Olomoucký kraj. Naopak Jihočeský kraj, Vysočina, Středočeský a Jihomoravský kraj jsou nejvíce korigovány záporným směrem zejména kvůli jejich rekreačnímu využití či blízkosti velkých měst a husté sídelní struktuře.

V optimistickém scénáři míří korekce převážně kladným směrem díky rozšíření ekonomicky rentabilního území v lesích a nížinách; rozdělení po krajích je přitom podobné jako v konzervativním scénáři. Relativně největší navýšení v Královéhradeckém a Zlínském kraji je dáno velmi nízkým základem, kdy malý počet nově uvažovaných pozic v lesích či nižších polohách vede ke značnému procentuálnímu nárůstu.

	konzervativní	optimistický
Středočeský	81%	151%
Jihočeský	67%	100%
Plzeňský	103%	131%
Karlovarský	117%	142%
Ústecký	137%	155%
Liberecký	122%	152%
Královéhradecký	95%	193%
Pardubický	95%	130%
Vysočina	68%	98%
Jihomoravský	87%	129%
Olomoucký	113%	153%
Zlínský	101%	235%
Moravskoslezský	115%	167%

**Tab. 11:** Korekce regionálního rozložení VtE vůči původnímu výpočtu dle ([Hanslian a kol., 2008](#))

### 3.5. Výsledný odhad realizovatelných scénářů

Finální hodnoty realizovatelných scénářů větrné energie v rozlišení po krajích jsou uvedeny v tab. 12:

	konzervativní			optimistický		
	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/rok]	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/rok]
Středočeský	53	180	450	123	646	1 720
Jihočeský	50	151	359	89	441	1 166
Plzeňský	41	124	294	62	310	815
Karlovarský	50	151	353	74	361	934
Ústecký	101	314	764	144	692	1 855
Liberecký	25	76	184	38	187	495
Královéhradecký	12	37	86	28	146	382
Pardubický	53	160	375	86	430	1 115
Vysočina	121	363	887	204	1 019	2 766
Jihomoravský	113	400	1 019	217	1 136	3 065
Olomoucký	64	198	494	105	533	1 426
Zlínský	12	41	99	35	181	469
Moravskoslezský	101	330	863	189	961	2 638
<b>Česká republika</b>	<b>798</b>	<b>2 525</b>	<b>6 227</b>	<b>1 392</b>	<b>7 044</b>	<b>18 844</b>

Tab. 12: Realizovatelné scénáře větrné energie v České republice – odhadovaný stav v roce 2040

Konzervativní scénář větrné energie je přes nezanedbatelné rozdíly v použitých předpokladech ve výsledku blízky závěrům minulých studií větrného potenciálu (pro střední scénář). Zjednodušeně lze říci, že nynější předpoklad vyšší koncentrace VtE a aplikace modernějších technologií se kompenzují s nyní pesimističtějšími předpoklady ohledně energetických ztrát, odstupu od sídel a větrnosti.

Optimistický scénář předpokládá přibližně trojnásobný výkon a výrobu energie vůči scénáři konzervativnímu, což je dáno jednak předpokladem lepší realizovatelnosti díky vstřícnějšímu postoji obyvatel a úřadů, a jednak větším rozměrem VtE, který vede ke zvětšení rozsahu ekonomicky rentabilních lokalit a k využití vyšších rychlostí větru ve větších výškách.

Z hlediska regionálního rozložení mají nejvyšší váhu VtE v rámci širšího regionu Českomoravské vrchoviny (cca 1/3 celkového objemu), ve vyšší či nižší míře jsou však VtE zastoupeny v každém regionu České republiky.

## **4. Diskuze**

### **4.1 Porovnání se současným využitím větrné energie v zahraničí**

Určitým ověřením, zda se teoreticky odvozené hodnoty scénářů větrné energie v České republice pohybují v realistických mezích, může být porovnání se současným stavem využití větrné energie v zahraničí. Lze předpokládat, že v těch zemích, kde byly v minulosti po dostatečnou dobu vytvořeny příznivé podmínky pro realizaci VtE, již mohlo dojít k realizaci podstatné části větrného potenciálu a současný stav v těchto zemích lze proto srovnávat s budoucím stavem v České republice.

Aby takové porovnání mělo vypovídací schopnost, je nutno najít relevantní srovnávací kritérium, vzít v úvahu odlišnosti mezi podmínkami v České republice a v zahraničí, a také mezi technologiemi převažujícími u stávajících VtE a technologiemi předpokládanými pro výstavbu v příštích 20 letech.

Klíčovým faktorem pro odhad realizovatelného potenciálu větrné energie je v podmínkách České republiky poměr mezi (i) rozsahem lokalit, kde budou VtE skutečně realizovány, a (ii) celkovým rozsahem teoreticky vhodného území (vhodného z hlediska větrnosti, resp. ekonomické rentability, a zásadních geografických omezení), tedy realizovatelnost VtE:

i) Pro odhad rozsahu lokalit skutečně využitých pro VtE je jedinou rozumně dostupnou informací údaj o nominálním výkonu VtE. Ten je nutno vztáhnout k velikosti území, kritériem je proto „územní hustota výkonu VtE“. Jde o poměr celkového výkonu VtE k ploše území (na rozdíl od „hustoty výkonu VtE“ dle [kap. 3.2.1](#), kde jde o vztah výkonu VtE k ploše jejího rotoru).

Při porovnání je nutno vzít v úvahu, že typická územní hustota výkonu VtE postavených ve stejných podmínkách v budoucnosti se může měnit. V první řadě závisí na hustotě výkonu použitých typů VtE, neboť prostor, který každá VtE potřebuje ve větrné farmě, je úměrný ploše jejího rotoru, ale nezávislý na výkonu. V nekonečně velké větrné farmě je územní hustota výkonu VtE při zachování relativních odstupů mezi VtE přímo úměrná hustotě výkonu použitých typů VtE, u menších větrných farem či osamocených VtE je závislost mírnější. VtE postavené v minulosti se obvykle vyznačovaly vyšší hustotou výkonu než VtE předpokládané ve scénářích budoucnosti, proto je nutno uvažovat, že i územní hustota výkonu VtE poklesne a stejný výkon bude odpovídat většímu území než u stávajících VtE.

Na územní potřeby pro VtE bude mít dále vliv mírná tendence k menším relativním odstupům mezi VtE (vede k vyššímu využití území) a k větším odstupům od sídel (vede k nižšímu využití území).

V souhrnu lze očekávat, že na jednotku výkonu bude v budoucnu připadat více území než je tomu u stávajících větrných farem, odhadem o 35 % více (na jednotku výroby však bude připadat území přibližně stejně velké či menší díky podstatně vyššímu kapacitnímu faktoru).

ii) Rozsah teoreticky vhodného území lze zhruba odhadnout na základě klimatických a geografických charakteristik daného území. Z hlediska porovnání podmínek pro VtE v různých regionech je nutno vzít v úvahu několik faktorů:

V první řadě jde o větrné podmínky. Nejde primárně o samotnou rychlost větru, ale spíše o rozsah území, kde větrné podmínky umožňovaly (umožní) ekonomicky rentabilní výstavbu VtE. Z tohoto pohledu lze území Evropy rozdělit na:

- regiony, kde jsou rychlosti větru postačující pro výstavbu VtE (téměř) v celé ploše území (Irsko, Dánsko, severní Německo, většina Velké Británie, Beneluxu a Polska, severozápad Francie),

- regiony, kde má výstavba VtE ekonomické opodstatnění pouze na části území, například ve vyšších partiích hor či vrchovin, nebo ve specifických oblastech (prakticky celá jižní polovina Evropy, převážná část střední Evropy včetně České republiky, část Skandinávie).

Dále podstatnou roli hraje charakter krajiny, který určuje, jak velká část území je pro VtE principiálně nevhodná z důvodu obtížných přírodních podmínek či osídlení:

- ve vysokých či členitých pohořích (Alpy, Pyreneje, částečně Karpaty či jihoevropská pohoří) jsou vhodné větrné podmínky zpravidla pouze na horských hřebenech, kde je výstavba VtE často



problematická či nemožná z technických či environmentálních důvodů, což potenciál pro větrnou energii značně limituje,

- VtE musí zachovávat určitý odstup od osídlení. Prostor pro VtE je proto silně limitovaný v oblastech s vysokou hustotou zalidnění (např. Benelux) či v místech s hustou sídelní strukturou (například rozptýlené farmy v některých zemědělských regionech). Naopak v řídké osídlených regionech či v regionech s řídkou sídelní strukturou může být osídlení menším omezením než ve střední Evropě.

Dále mohou být zejména v méně osídlených částech Evropy limitem elektrické sítě, a to jak z hlediska možnosti vyvedení výkonu, tak ve smyslu integrace kolísající výroby větrné energie do elektrické soustavy.

Současně je nutno vzít v úvahu dosavadní míru podpory pro větrnou energii, tedy do jaké byl v dané zemi poskytnut prostor pro využití potenciálu větrné energie. V tomto ohledu se vymyká Německo, kde byla větrná energie bez přerušení ve všech ohledech podporována od počátků větrné energetiky až zhruba do roku 2016. V ostatních zemích se buď míra podpory v průběhu času významně změnila, nebo byla v nějakém smyslu dlouhodobě limitovaná (například nechtít povolovat VtE, ekonomicky méně příznivým nastavením podpory či limitovanou kapacitou elektrické sítě).

	MW	km <sup>2</sup>	MW/km <sup>2</sup>
Belgie	2323	30528	0.076
Bulharsko	691	110994	0.006
Česká republika	337	78866	0.004
Dánsko	6128	42933	0.143
Estonsko	320	45339	0.007
Finsko	2284	338432	0.007
Francie	16646	551695	0.030
Chorvatsko	652	56542	0.012
Irsko	4155	70273	0.059
Itálie	10512	301338	0.035
Kypr	158	9251	0.017
Litva	548	65200	0.008
Lotyšsko	66	64589	0.001
Lucembursko	136	2586	0.053
Maďarsko	329	93036	0.004
Malta	0	316	0.000
Německo	61357	357023	0.172
Nizozemí	4600	41543	0.111
Polsko	5917	312679	0.019
Portugalsko	5437	92212	0.059
Rakousko	3159	83879	0.038
Rumunsko	3029	238391	0.013
Řecko	3576	131948	0.027
Slovensko	3	49036	0.000
Slovinsko	3	20273	0.000
Španělsko	25808	505990	0.051
Švédsko	8985	449964	0.020
Velká Británie	23515	243610	0.097
ČR - konzervativní	2525	78866	0.032
ČR - optimistický	7044	78866	0.089
<b>ČR - konzervativní +35%</b>	<b>3409</b>	<b>78866</b>	<b>0.043</b>
<b>ČR - optimistický +35%</b>	<b>9510</b>	<b>78866</b>	<b>0.121</b>

**Tab. 13:** Porovnání souhrnného výkonu VtE v roce 2019 a plochy území pro různé země Evropy a scénáře větrné energie v ČR (výkon VtE podle [Wind Europe, 2020](#)).

Výsledky porovnání jsou ukázány v **tab. 13**. Územní hustotu výkonu VtE v jednotlivých evropských zemích ke konci roku 2018 lze porovnat s hodnotami pro konzervativní a optimistický scénář pro Českou republiku po jejich navýšení o 35 % (to zohledňuje trend k nižší hustotě výkonu VtE, viz výše). Je patrné, že územní hustota výkonu VtE se v různých zemích značně liší, od hodnot v řádu jednotek kW/km<sup>2</sup> v zemích východní a severní Evropy, přes řádově desítky kW/km<sup>2</sup> v západo- a jihoevropských zemích, až po hodnoty přesahující 100 kW/km<sup>2</sup> v Německu a Dánsku. Tyto výsledky jsou odrazem podmínek v jednotlivých zemích, které lze zjednodušeně charakterizovat takto:

**Německo:** bude podrobněji diskutováno níže

**Rakousko:** rozlohou, počtem obyvatel i geograficky blízké České republice, nicméně značnou část území pokrývají vysoké hory a podhorské oblasti, kde jsou možnosti pro výstavbu VtE velmi omezené. Menší část území (na sever od Dunaje) je České republice charakterem krajiny i větrnými podmínkami dosti podobná. Specifikem je území východně od Vídně, kde jsou podmínky mimořádně příznivé, a to jak větrností, tak charakterem krajiny. Dosud se výstavba VtE koncentrovala do nejvíce větrných lokalit, zatímco většina území včetně „středně“ větrných míst se nevyužívá. V praxi je tedy nastavena hranice rentability výše než v České republice. Při shodném nastavení podmínek by potenciál větrné energie byl nejspíše přibližně srovnatelný s ČR

**Švýcarsko:** část území pokrývají vysoké hory a zbývající území se vyznačuje hustým osídlením a nízkou větrností, proto je zde minimum lokalit vhodných pro VtE

**Benelux:** plošně dosti větrné území, ale limitem je velmi husté osídlení s malým prostorem pro VtE

**Francie:** dosavadní využití větrné energie je limitováno zdoluhavým a obtížným povolovacím řízením (byť nyní existuje snaha o zjednodušení). Severozápadní část Francie má na většině plochy poměrně příznivé podmínky, ale vyznačuje se hustou sítí obydlených farem, což značně limituje dostupné území. V jihovýchodní části se dostatečně větrná místa zpravidla nacházejí na horských hřebenech, v místech hustě osídlených či environmentálně citlivých, což limituje počet dostupných lokalit. V některých regionech může být limitem i kapacita elektrických sítí. Celkově je relativní rozsah potenciálně vhodného území pro VtE nejspíše podobný či mírně vyšší než v ČR

**Velká Británie:** velmi dobré větrné podmínky na většině území, ale v rámci Anglie je limitem značná hustota zalidnění a nechuť povolovat VtE, ve Skotsku pak nedostatečná kapacita sítí pro vyvedení výkonu. Chybí též motivace pro rozsáhlejší výstavbu VtE na pevnině díky velmi výhodným podmínkám pro mořské VtE

**Irsko:** velmi dobré větrné podmínky na většině území, limitem je integrace vyrobené energie díky omezenému propojení s okolními státy

**Dánsko:** velmi dobré větrné podmínky na většině území. Již nyní je však vysoký podíl větrné energie, proto je další výstavba dlouhodobě limitovaná kvůli integraci vyrobené energie. Vzhledem k vhodným podmínkám pro mořské větrné farmy je další rozvoj směřován tam

**Skandinávie (kromě Dánska) a Pobaltí:** z důvodu v minulosti omezené podpory a limitované dostupnosti elektrických sítí byla dosud využita pouze malá část potenciálu. Vzhledem k nízké hustotě obyvatel zde budou rozhodujícím limitem elektrické sítě, nikoli rozsah potenciálně vhodných lokalit, který je značný

**Portugalsko a Španělsko:** původně silná podpora byla značně omezena či zastavena po krizi v roce 2008, k částečnému obnovení rozvoje dochází až v posledních letech. Příznivé větrné podmínky jsou pouze na části území, výhodná je však nižší hustota osídlení a značná větrnost v některých lokalitách. Díky nižší hustotě obyvatel však jsou nejspíše limitem též elektrické sítě

**Itálie:** díky hornatému území a vysoké hustotě zalidnění je omezený prostor pro VtE (zejména v severní polovině země). Na jihu Itálie a ostrovech mohou být limitem též elektrické sítě (kapacita propojení se severní Itálií a zbytkem Evropy) a integrace vyrobené energie

**země Visegrádu (Česká republika, Slovensko, Polsko, Maďarsko):** dlouhodobě nepříliš vstřícný vztah k využívání větrné energie

**země Balkánu:** velkou část území tvoří hory či podhorské oblasti s podmínkami nevhodnými pro VtE, naopak lokality či regiony s vhodnými podmínkami a podporou jsou limitovány dostupností

elektrické sítě či možnostmi integrace vyrobené energie. V některých zemích dosud nevelká podpora pro větrnou energii.

Územní hustota výkonu v České republice po naplnění realizovatelných scénářů větrné energie odpovídá po korekci na stávající typy VtE územní hustotě výkonu 46 kW/km<sup>2</sup> pro konzervativní a 121 kW/km<sup>2</sup> pro optimistický scénář. Tyto hodnoty se pohybují zhruba v mezích současného stavu využití větrné energie v západoevropských zemích a vysoko nad úroveň současného stavu v zemích severní a východní Evropy. S výjimkou jižního Německa je však prosté srovnání zavádějící a je nutno zohlednit specifika konkrétních regionů:

- zcela irelevantní je porovnání se zeměmi východní a severní Evropy (včetně Irska a Dánska), které z důvodu limitované dostupnosti elektrických sítí, limitů integrace vyrobené energie a/nebo limitované podpory pro VtE dosud využívají pouze malý zlomek svého větrného potenciálu,

- územní hustota výkonu VtE v Rakousku, Francii, Itálii a Řecku se nachází cca na polovině až třech čtvrtinách úrovně (korigovaného) konzervativního scénáře pro Českou republiku. Lze uvažovat, že Itálie a Řecko mají díky řadě územních omezení (hornatý terén, hustota osídlení, elektrické sítě) relativně menší rozsah území vhodného pro VtE než Česká republika a ve všech čtyřech zemích jsou dosud využívána převážně jen nejvíce větrná místa (při trendu k využívání i méně větrných míst). Francie byla též dlouhodobě limitována obtížným povolováním VtE,

- Benelux, Španělsko, Portugalsko a Velká Británie se z hlediska hustoty výkonu VtE nacházejí na podobné úrovni či mírně nad úroveň konzervativního scénáře pro rok 2040. Tyto země se buď vyznačují mnohem příznivějšími větrnými podmínkami než Česká republika, ale jsou značně limitovány prostorově (Benelux, Velká Británie). Nebo mají mírně vyšší rozsah vhodných lokalit, ale zřejmě jsou částečně limitovány dostupností elektrických sítí (Španělsko, Portugalsko, Skotsko) a přerušovanou podporou pro pevninské VtE (vše mimo Benelux).

Porovnání se západo- a jihoevropskými zeměmi je tedy celkově problematické, v základních obrysech se ale jeví, že současná míra využití území vhodného pro VtE (realizovatelnost VtE) v těchto zemích velmi zhruba odpovídá naplnění konzervativního scénáře, jak byl definován v této studii.

	MW	km <sup>2</sup>	MW/km <sup>2</sup>
Bádensko-Württembersko	1550	35751	0.043
Bavorsko	2531	70550	0.036
Braniborsko	7320	29654	0.247
Hesensko	2217	21115	0.105
Meklenbursko-Přední Pomořansko	3473	23214	0.150
Dolní Sasko	11325	47593	0.238
Severní Porýní-Vestfálsko	5920	34113	0.174
Porýní-Falc	3685	19854	0.186
Sársko	483	2569	0.188
Sasko	1267	18416	0.069
Sasko-Anhaltsko	5193	20452	0.254
Šlesvicko-Holštýnsko	6996	15802	0.443
Durynsko	1613	16202	0.100
<b>jižní Německo</b>	<b>12079</b>	<b>166041</b>	<b>0.073</b>
<b>jižní Německo bez Bavorska</b>	<b>9548</b>	<b>95491</b>	<b>0.100</b>
severní Německo	40227	170828	0.235
ČR - konzervativní	2525	78866	0.032
ČR - optimistický	7044	78866	0.089
<b>ČR - konzervativní +35%</b>	<b>3409</b>	<b>78866</b>	<b>0.043</b>
<b>ČR - optimistický +35%</b>	<b>9510</b>	<b>78866</b>	<b>0.121</b>

**Tab. 14:** Porovnání souhrnného výkonu VtE v roce 2019 a plochy území pro jednotlivé spolkové země či regiony Německa a pro scénáře větrné energie v ČR (výkon VtE podle [Deutsche WindGuard, 2020](#)).

Německo je výjimečné jednak dlouhodobostí a systematickostí podpory pro VtE a jednak tím, že v jeho jižní části jsou geografické a větrné podmínky ze všech evropských regionů nejvíce podobné podmínkám v České republice. Přitom úroveň podpory větrné energie zde byla dlouhodobě nastavena tak, že se hranice rentability pohybuje okolo podobné úrovně větrnosti, jako v České republice. V Německu navíc nebyla výstavba VtE ani v nejvíce exponovaných oblastech významněji limitována nedostupností elektrických sítí, neboť VtE jsou připojovány do sítí i za cenu toho, že následně může docházet ke kompenzovanému omezení jejich provozu. V [tab. 14](#) uvedeny hodnoty pro jednotlivé spolkové země. V tomto ohledu lze rozlišit:

- spolkové země v oblasti severoněmeckých nížin (Braniborsko, Meklenbursko-Přední Pomořansko, Dolní Sasko, Sasko-Anhaltsko, Šlesvicko-Holštýnsko a částečně též Severní Porýní-Vestfálsko a Sasko). V rámci tohoto území umožňují větrné podmínky a úroveň podpory pro větrnou energii ekonomicky rentabilní výstavbu VtE prakticky kdekoli. Potenciál tohoto území je tak podstatně vyšší než v České republice, čemuž odpovídá i značná územní hustota již realizovaných VtE, která se převážně pohybuje výrazně nad hodnotou optimistického (!) scénáře pro rok 2040,

- zbývající spolkové země pokrývající zhruba jižní polovinu Německa se vyznačují pestrou paletou krajinných typů, přičemž z orografického pohledu výrazně převažují vrchoviny a pahorkatiny, v malé míře jsou zastoupeny též vyšší pohoří a roviny. V tomto i jiných ohledech (hustota sídelní struktury, zastoupení lesů) se zdejší krajina přibližně podobá charakteru krajiny v České republice. Podobné jsou i zdejší větrné podmínky.

Při podrobnějším rozlišení lze v rámci jižního Německa identifikovat, že spíše příznivější podmínky (pokud jde o rozsah dostatečně větrného území) mají Porýní-Falc, Durynsko a Sársko, spíše méně příznivé jsou v Bavorsku a Bádensku-Württembersku, někde uprostřed se nachází Hesensko. Také je známo, že v Bavorsku jsou vůči zbytku Německa větší bariéry pro výstavbu VtE. Tomu odpovídá i územní hustota výkonu VtE, která je v rámci jižního Německa nejvyšší v Porýní-Falci a Sársku, naopak v Bavorsku je zcela nejnižší.

V celkovém souhrnu se územní hustota výkonu VtE v jižním Německu pohybuje mezi úrovní pro hodnotu konzervativního a optimistického scénáře v České republice pro rok 2040, a to blíže scénáři konzervativnímu při zahrnutí Bavorska a blíže scénáři optimistickému bez zahrnutí Bavorska. Vzhledem k podobnosti podmínek v České republice a v jižním Německu jsou tyto hodnoty přímo porovnatelné.

Ukazuje se tedy, že současný stav využití větrné energie ve většině západoevropských zemí po zohlednění regionálních odlišností přibližně koresponduje s naplněním konzervativního scénáře, zatímco současný stav větrné energetiky v Německu koresponduje s úrovní mezi konzervativním a optimistickým scénářem. Přitom lze očekávat, že využití větrné energie ani v západní Evropě dosud nedosáhlo své hranice a zejména v zemích bez významného potenciálu pro výstavbu mořských VtE bude (na pevnině) dále růst. Realizovatelnost VtE v konzervativnějších zemích tedy zřejmě směřuje k úrovni zhruba odpovídající konzervativnímu scénáři či mírně nad ní, naopak v progresivnějších zemích zřejmě směřuje k úrovni ekvivalentní optimistickému scénáři či mírně pod ní.

Analýza dosavadního využití větrné energie v zahraničí tedy indikuje, že hodnoty konzervativního i optimistického scénáře pro Českou republiku se pohybují v realistických mezích.

#### 4.2 Potenciál větrné energie v klimatologických souvislostech

Množství energie větru, která je k dispozici pro využití VtE, není neomezené. Zatímco z pohledu měřítek do 100 km<sup>2</sup> (což odpovídá jedné velmi velké větrné farmě či oblasti několika menších větrných farem) lze počítat s jednoduchou představou neomezeného doplňování energie z vyšších vrstev atmosféry, ve větším prostorovém měřítku je nutno vzít v úvahu procesy ve větším rozsahu atmosféry.

Energie proudění v atmosféře (respektive v její spodní části, troposféře) průběžně vzniká a zaniká v celém jejím objemu, přičemž je částečně transportovaná shora dolů: v horní části troposféry více energie vzniká, zatímco v její spodní části (v tzv. mezní vrstvě) převažuje zánik energie díky tření o zemský povrch a turbulenci (energie kinetická se tím přeměňuje na energii tepelnou). Intenzita tohoto transportu energie a jejího zániku v mezní vrstvě určuje, jaké množství energie je teoreticky k dispozici pro využití prostřednictvím VtE. Ty využívají energii, která by bez jejich přítomnosti zanikla v mezní vrstvě jiným způsobem, díky čemuž je jejich fungování udržitelné. Množství (výkon) takto dostupné energie odhadují relevantní studie (například [Miller, 2011](#)) velmi přibližně v řádu okolo 1 W/m<sup>2</sup>.

Tuto energii není možno zcela převést na vyrobenou elektřinu. Jednak je nutno uvažovat nevyhnutelné ztráty při konverzi, a to zejména z aerodynamických důvodů (část energie vždy neužitečně zanikne v turbulenci způsobené VtE), v menší míře pak při mechanických a elektrických ztrátách na VtE a souvisejících zařízeních. Dále je nutno počítat s tím, že při využití vysokého podílu energie dojde ke snížení rychlosti větru v mezní vrstvě atmosféry (dopad na vyšší atmosféru je velmi omezený) a získání další energie se stává nákladnějším. Nevyužita také zůstane část energie při vysokých rychlostech větru, kdy VtE pracují na nominálním výkonu a zbývající energii již nemohou zpracovat. Jako možné a rozumné se tak jeví výroba elektrické energie na úrovni řádově 1/10 až 1/5 dostupné energie proudění.

Fakt, že energie větru je z klimatologického pohledu zdrojem obnovitelným a nevyčerpatelným, nikoli však neomezeným, je při úvahách o možnostech větrné energetiky často podceňován, jak upozorňují např. [Miller a kol., 2015](#) či [Adams a Keth, 2013](#). Tato chyba se pohřbíchu týká i studií různých renomovaných institucí (např. [International Energy Agency, 2019](#)).

Současně však platí, že navzdory uvedeným limitům je množství využitelné energie větru stále značné. Pro území České republiky se podle výše provedených úvah může udržitelně využitelné množství větrné energie pohybovat na úrovni umožňující vyrobit řádově okolo 100 TWh elektrické energie ročně ( $1 \text{ W/m}^2 * 79\,000 \text{ km}^2 * 8760 \text{ h} / 7$ ) při předpokladu zachování bilance přeshraničních toků energie větru (tedy nebude spotřebovávána energie na úkor okolních regionů ani naopak).

Vedle *technického potenciálu*, který byl odvozen na úrovni řádově vyšších desítek TWh ročně lze tedy odhadovat, že *klimatologický potenciál* větrné energie v České republice se nejspíše pohybuje řádově na úrovni okolo 100 TWh ročně.

Tyto hodnoty však nelze zcela srovnávat. Na jednu stranu platí, že pro hypotetické plné využití klimatologického potenciálu by musely být větrné farmy rozptýleny po celém území České republiky. To však technický potenciál tak, jak byl definován v této a předcházejících studiích, nespĺňuje. Při jeho odvození bylo považováno za "vhodné" pouze území v místech s dostatečnou větrností, mimo CHKO a v dostatečné vzdálenosti od sídel, díky čemuž je v řadě regionů uvažováno poměrně nízké množství VtE. To se týká například severovýchodní části Čech (Polabí a pohraniční pohoří), (středo)východní části Moravy (Moravské úvaly a nížiny, Ostravsko, pohoří Karpat) či jihozápadních Čech (pánevní oblasti, Šumava). V těchto regionech by i při hypotetické realizaci celého technického potenciálu zůstala významná část dostupné energie nevyužita.

Naopak v některých jiných regionech je v rámci technického potenciálu uvažován natolik velký rozsah "vhodných" lokalit, že by jejich hypotetické plné využití naráželo na klimatologické limity. Výpočet výroby energie uvažované ve studii technického potenciálu vychází z mikroměřítkového modelu, který zohledňuje pouze vliv blízkých VtE, nikoli však velkoprostorové snížení větrnosti. Pokud by však byly VtE postaveny všude, kde je to "technicky" možné, docházelo by k takovému snížení rychlosti větru v rámci celé mezní vrstvy atmosféry, že by realizace všech VtE nedávala



ekonomický smysl. Vypočtenou výrobu v rámci technického potenciálu proto nelze brát doslova, ale pouze jako výchozí bod pro odvození potenciálu realizovatelného. Při hypotetické snaze o realizaci VtE v rámci technického potenciálu by byla skutečná výroba energie nižší, a to zejména v širší oblasti Českomoravské vrchoviny, v menší míře též Nízkého Jeseníku.

Pro úvahy o maximálních možnostech využití větrné energie lze namísto technického a klimatologického potenciálu uvažovat „maximální scénář“, který reprezentuje hypotetickou situaci, kdy by bylo cílem skutečně v nejvyšší možné míře energii větru využít. V takovém scénáři by hranice rentability byla postavena na nižší rychlosti větru, než je uvažováno při konstrukci technického potenciálu, a současně by výstavba VtE měla vždy maximální prioritu, až na případy, kde je jejich umístění jednoznačně nevhodné. Bylo by tedy možno ve větší míře využívat i environmentálně citlivější oblasti, byla by minimalizována technická omezení a výstavba VtE by nebyla limitována integrací vyrobené energie ani krajinným rázem. Lze odhadovat, že potom by se maximální rozumně možné využití větrné energie v České republice pohybovalo v řádu 50 – 100 TWh ročně, přičemž rozložení po krajích by bylo více rovnoměrné, než vyplývá z dosavadních analýz technického potenciálu. Ve srovnání s uvažovanými realizovatelnými scénáři by bylo nutno počítat s vyšší cenou za vyrobenou energii a s nižším kapacitním faktorem VtE. Zcela hypoteticky by zřejmě bylo možno získat z větru ještě podstatně více energie, nejspíše řádově okolo 200 TWh ročně. Takový scénář je však zřejmě zcela nereálný s ohledem na nevyhnutelné finanční a environmentální náklady.

*Realizovatelné scénáře* využití větrné energie, které jsou předmětem této studie, se pohybují výrazně pod uvedenými hodnotami. Lze předpokládat, že v případě konzervativního scénáře (6 TWh) nebudou hrát kumulativní efekty podstatnější roli, zatímco v optimistickém scénáři (19 TWh) už jistý dopad velkoprostorového vzájemného ovlivnění VtE může být v některých regionech patrný. I proto je v tomto scénáři uvažována podstatně vyšší ztráta na vrub vzájemného ovlivnění VtE, než vyplývá z původního výpočtu. Konkrétní dopad však bude záviset na míře koncentrace VtE do určitých regionů. Obecně lze předpokládat, že ani v optimistickém scénáři nebude nikdy v budoucnu koncentrace VtE tak vysoká, jako je již nyní v některých exponovaných regionech v zahraničí - v rámci Evropy například v některých částech severního Německa či v Rakousku na východ od Vídně.

V souvislosti s rozsáhlým využitím větrné energie se v poslední době taktéž objevují pochybnosti o možném dopadu VtE na ostatní aspekty klimatu, zejména na teploty a srážky. Jak vyplývá z vědeckých prací na toto téma, nejpodstatnějším a dobře dokumentovaným dopadem je mírné zvýšení nočních teplot v prostoru a okolí velkých větrných farem, ke kterému dochází díky promíchávání vzduchu a přenosu teplejšího vzduchu z vyšších vrstev k zemskému povrchu. Jde o oteplení až o jednotky stupně Celsia v jednotlivých nocích a až o desetiny stupně celsia v průměru (např. [Cervarich a kol., 2013](#); [Adams a Keoth, 2013](#); [Harris a kol., 2014](#); [Zhou a kol, 2013](#); [Miller a Keith, 2018](#)). Tento jev je pozorován zejména v centrálních Spojených Státech, v našich podmínkách je patrně méně podstatný ([Moravec a kol., 2018](#)). Obecně jde o jev, který je prostorově omezený a intenzitou se pohybuje na srovnatelné úrovni s dopady jiných antropogenních změn v krajině, jako jsou například tepelné ostrovy měst.

Vedle toho je zkoumáno, zda mohou VtE ovlivnit klimatické podmínky ve velkém, až globálním měřítku (například prostřednictvím ovlivnění velkoprostorové cirkulace). Modelové simulace naznačují, že ano, podstatnější dopady však byly zjištěny až při simulacích, které předpokládají skutečně masivní využití větrné energie na úrovni blízké jejímu klimatologickému potenciálu ([Miller a kol., 2011](#); [Keith a kol., 2004](#); [Miller a Keith, 2018](#)). I v těchto případech jde vesměs o dopady pod úrovní dlouhodobých klimatických dopadů zvyšování koncentrace skleníkových plynů.

Celkově se tedy jeví, že při reálně představitelném využití větrné energie by k zásadnějšímu negativnímu ovlivnění klimatu docházet nemělo. Určitá opatrnost však může být na místě, zejména při využití větrné energie, které by se ve velkém měřítku blížilo klimatologickému potenciálu. To však v rámci vnitrozemí centrální části Evropy s ohledem na prostorová a jiná omezení nejspíše není reálné a ani zde prezentovaný optimistický scénář větrné energie se takové úrovni neblíží.

V hypotetické variantě „maximálního scénáře“ by však již bylo nutno těmto otázkám věnovat zvýšenou pozornost.

Související otázkou je, zda nemohou být naopak větrné podmínky v České republice nějakým způsobem ovlivněny změnami klimatu v důsledku rostoucích koncentrací skleníkových plynů. Výsledky dosavadního výzkumu na tuto otázku (např. [Carvalho a kol., 2017](#); [Hueging a kol., 2013](#); [Tobin a kol., 2015](#)) nedávají jednoznačnou odpověď, neboť různé klimatické simulace dávají značně rozdílné výsledky. Při souhrnném pohledu na výsledky více studií se jeví, že by v důsledku klimatické změny mohlo docházet spíše k poklesu větrnosti v jižní části Evropy a spíše ke stagnaci či nárůstu větrnosti v severní části Evropy (zejména v širším regionu okolo Baltského moře), přičemž Česká republika se nachází zhruba na rozhraní těchto regionů. Dále se jeví, že by ve střední Evropě mohlo docházet spíše k poklesu větrnosti v teplé části roku a spíše ke stagnaci či nárůstu větrnosti v jeho chladné části, tedy ke zvýšení rozdílů mezi větrností teplé a chladné části roku. Vzhledem k tomu, že v celoročním pohledu do budoucna není zřejmý jasný trend větrnosti v České republice, lze za základní scénář považovat zachování klimatických podmínek pro větrnou energii na současné úrovni.

#### 4.3 Environmentální a technické limity výstavby VtE

Není v možnostech této studie explicitně a do hloubky hodnotit jednotlivé okolnosti limitující možnosti VtE po technické či environmentální stránce. Proto byly tyto okolnosti parametrizovány prostřednictvím korekčních faktorů (tab. 10). Je zřejmé, že použité korekce jsou pouze hrubým odhadem vycházejícím ze subjektivního zhodnocení dostupných informací, jehož cílem je modelovat situaci, která nastane v případě mírné (konzervativní scénář) či výrazné (optimistický scénář) celospolečenské podpory pro využití větrné energie.

Kritické okolnosti lze hledat v těchto oblastech:

1) Akceptace větrných elektráren jako takových a jejich viditelnosti v krajině, tedy otázka krajinného rázu (viz např. [Cetkovský a kol., 2010](#)), je zcela nejpodstatnějším faktorem. V tomto ohledu je možno identifikovat místa a regiony, kde lze očekávat všeobecnou shodu na neakceptovatelnosti výstavby VtE (například ve vrcholových partiích nejvyšších pohoří či v prostoru výjimečných krajinných scénérií). Mimo tato místa je však hodnocení přijatelnosti výstavby VtE do značné míry otázkou subjektivního vnímání a často souvisí s obecným postojem k využití větrné energie. Přitom platí, že VtE krajinný ráz nevyhnutelně ovlivňují a spoluvytvářejí a požadavek na to, aby krajinný ráz nebyl ovlivněn, je totožný s požadavkem, aby energie větru nebyla využívána. Hodnocení přijatelnosti VtE v krajině a akceptace větrné energetiky jako takové jsou tedy nevyhnutelně provázány. Právě zde je největší rozdíl mezi konzervativním a optimistickým scénářem, kdy konzervativní scénář předpokládá podstatně nižší akceptaci VtE než scénář optimistický.

Pro představu, jak velké zastoupení VtE v krajině oba scénáře znamenají, lze využít hodnoty územní hustoty výkonu VtE v různých regionech (tab. 13 a 14), neboť ovlivnění krajinného rázu je územní hustotě výkonu VtE přibližně úměrné. Územní hustotu výkonu VtE pro budoucí scénáře pro Českou republiku lze (po korekci na aktuální technologie) srovnávat s hodnotami pro současný stav v různých evropských zemích. Z hlediska územní hustoty výkonu VtE, a tedy zastoupení VtE v krajině, je opět nejlepší analogií jižní polovina Německa. To se nyní pohybuje, s výjimkou Bavorska, na úrovni mezi naplněním konzervativního a optimistického scénáře pro Českou republiku, v Bavorsku pak mírně pod úrovní naplnění konzervativního scénáře. Při mírném překročení konzervativního scénáře lze tedy předpokládat podobnou viditelnost VtE v krajině, jaká je nyní v jižní části Německa. Naopak v krajině severního Německa se zastoupení VtE pohybuje v průměru výrazně nad naplněním optimistického scénáře pro Českou republiku. Poněkud zavádějícím příkladem je Rakousko, které se jako celek nachází pod úrovní konzervativního scénáře, naprostá většina VtE je však koncentrována v okolí Vídně, kde je zastoupení VtE v krajině skutečně enormní, na úrovni několikanásobné vůči naplnění optimistického scénáře pro ČR. Jde o oblast pro mnoho obyvatel České republiky (a Slovenska) dobře známou, neboť zde procházejí frekventované komunikace z Brna a Bratislavy do Vídně.

Určitou odlišností mezi současným stavem a budoucností může být rozměr VtE, kdy pro budoucí scénáře se předpokládá výstavba nižšího počtu větších VtE. V konzervativním scénáři je s výjimkou nížin rozměr uvažovaných VtE jen mírně nad typickými rozměry nynějších VtE, v optimistickém scénáři je však mimo horské oblasti uvažovaný rozměr VtE přibližně o polovinu větší (v každém rozměru). Vedle konkrétních hodnot pak může z estetického (krajinného) hlediska záležet i na struktuře rozmístění VtE – zda bude převládat jejich koncentrace do jednoho či několika regionů a do velkých větrných farem (příkladem může být Rakousko nebo Rumunsko) nebo spíše ve formě většího počtu jednotlivých VtE či malých větrných farem plošně rozptýlených v krajině (příkladem může být Dánsko). Nejpravděpodobnějším scénářem je nejspíše kombinace obojího, s převahou menších (obr. 5) a středních větrných farem a rozdílným zastoupením VtE v různých regionech – i v tomto lze považovat za dobrý příklad jižní polovinu Německa.



**Obr. 5:** Ukázka menší větrné farmy v prostředí českých vrchovin (větrná farma Horní Paseky, Ašský výběžek)

2) Také z pohledu ochrany přírody lze rozlišovat lokality, kde je možno očekávat jasnou shodu na neakceptovatelnosti výstavby VtE, a zbývající území, kde bude do značné míry záležet na postoji zainteresovaných subjektů. Podobně jako v případě krajinného rázu je možné při obecně negativním postoji k větrné energetice převážně či zcela zabránit výstavbě VtE zavedením plošných vylučujících kritérií bez ohledu na faktický dopad VtE. Zjištění reálného dopadu na přírodu se nicméně nemůže obejít bez podrobné analýzy dopadu na konkrétní živočišné druhy a bez biologického průzkumu a zhodnocení konkrétní lokality; skutečně závažný a neřešitelný dopad vylučující výstavbu VtE lze nejspíše očekávat pouze na výrazné menšině lokalit mimo zvláště chráněná území a území systému NATURA.

Konkrétně znamenají VtE ohrožení zejména pro netopýry a velké ptačí druhy. Podle zkušeností ze zahraničí se problematika netopýrů týká poměrně velkého počtu lokalit. Vzhledem však k tomu, že aktivita netopýrů se soustřeďuje do období teplých nocí s nízkými rychlostmi větru, lze riziko střetu s netopýry řešit vypínáním VtE v této době, přičemž z toho vyplývající energetické ztráty se zpravidla pohybují do 5 % celkové výroby energie a zpravidla nedosahují takové výše, aby učinily daný projekt ekonomicky nerentabilním. U některých druhů netopýrů lze namísto vypínání VtE značně snížit riziko střetu pomocí odhánění rušícími prostředky, ale tato metoda není dosud v Evropě běžně využívána. Z hlediska velkých ptačích druhů je podle zahraniční praxe situace pestřejší. V některých lokalitách je výstavba VtE z důvodu ohrožení ptačích populací zcela nepřijatelná. V části dalších lokalit VtE sice znamenají signifikantní riziko, lze jej ale značně omezit dodržováním určitých provozních omezení (například vypínáním VtE v době tahu ptáků či v období po sklizni plodin či sečení trávy). Ve velké části lokalit jsou pak rizika pro ptačí populace hodnocena jako akceptovatelná a provoz VtE není z tohoto titulu omezován. Obecně nejspíše platí, že VtE jsou ve srovnání s jinými antropogenními faktory (průhledné a lesklé plochy budov a jiných staveb, doprava, domácí kočky, elektrická vedení, způsob využití krajiny, jedy v krajině, klimatické změny) relativně méně významným ohrožením ptačích společenstev (např. [Loss a kol., 2015](#)).

Pozemní živočichové (či jiné organismy) podle dostupných informací nejsou samotnými VtE prakticky nijak podstatněji ovlivněni, největším narušením je v tomto případě výstavba přístupových cest, manipulačních ploch či jiné infrastruktury a lidský provoz při stavebních a jiných



pracích. Z tohoto pohledu je problematická zejména výstavba v málo narušeném přírodním prostředí, což v podmínkách České republiky není častý případ.

3) Střety s jinými technologiemi zahrnují například ovlivnění vojenských, leteckých či meteorologických radarů provozem VtE, vliv na letecký provoz (civilní, vojenský) či ochranná pásma různých liniových technologií či staveb (elektrická vedení, radiokomunikace, dopravní infrastruktura). Také v tomto případě je možno aplikací maximalistických požadavků vyloučit výstavbu VtE na značné části území České republiky, zatímco skutečně zásadní a neřešitelný konflikt se pravděpodobně týká pouze jeho výrazně menšinové části. Opět tedy platí, že na velké části území bude hodnocení akceptovatelnosti VtE záviset na vstřícnosti povolujících subjektů, a to ve smyslu hodnocení závažnosti dopadu VtE na jiné technologie, ochoty k individuálnímu posouzení skutečného dopadu a vůle k hledání technických řešení, která mohou tyto dopady eliminovat či omezit.

4) Zásadním limitujícím faktorem, zejména v méně osídlených regionech, je možnost vyvedení výkonu VtE do elektrizační soustavy. V obou scénářích je předpokládáno, že rozsah výstavby VtE bude na vrub této okolnosti do jisté míry limitován, současně však nepůjde o zcela zásadní bariéru výstavby VtE. Filozofie uvažovaných scénářů odpovídá situaci, kdy konzervativní scénář vystačí převážně s využitím stávajících sítí a méně náročnými úpravami umožňujícími navýšení připojitelné kapacity, zatímco v optimistickém scénáři je využití větrné energie podpořeno nezbytným rozšířením sítí v oblastech s největším potenciálem větrné energie (zejména v oblasti Českomoravské vrchoviny a Nížkého Jeseníku). Požadavky na posilování distribučních sítí mohou být vyšší (v obou scénářích) v případě souběžné rozsáhlejší výstavby fotovoltaických elektráren mimo průmyslová a urbanizovaná centra. Oba scénáře předpokládají vůli všech zúčastněných subjektů hledat v rámci technických možností cesty k co nejvyššímu využití větrné energie.

5) Často zmiňovaným limitem je dopravní dostupnost lokalit výstavby VtE, zejména z pohledu možnosti transportu velkých dílů VtE (například listy rotoru či gondola). Praktické zkušenosti však ukazují na značnou kreativitu dopravních a stavebních společností, díky které lze mnoho zdánlivě neřešitelných situací za vynaložení určitých finančních nákladů překonat. Obtížné dopravní podmínky však někdy skutečně mohou znamenat natolik velkou komplikaci či natolik vysoké náklady, že (zejména ve více větrných lokalitách) může být adekvátním řešením výstavba relativně vyššího počtu menších VtE, případně může jít i o faktor limitující samotnou realizovatelnost VtE.

V praxi lze tedy v různých aspektech limitujících výstavbu VtE rozlišovat případy, kdy výstavba VtE jednoznačně není možná či žádoucí, a širokou škálu dalších případů, kdy je dopad VtE více nebo méně akceptovatelný či řešitelný. Zde hodnocení akceptovatelnosti, případně i ochota hledat možnosti řešení, závisí zejména na postoji a přístupu příslušného povolujícího subjektu. Při nevíli k využití větrné energie či neochotě zabývat se reálnými důsledky výstavby VtE a možnostmi jejich řešení či eliminace je obvyklým přístupem aplikovat obecná kritéria plošně vylučující výstavbu VtE v široké škále situací. Příkladem může být obecné zamítání VtE s poukazem na vliv na krajinný ráz (který existuje vždy) či vytváření různých rozsáhlých zón či ochranných pásem s vyloučením výstavby VtE bez ohledu na jejich skutečný dopad či možnosti řešení. Obojí může vést (a vede) k faktickému znemožnění dalšího rozvoje větrné energetiky. Naopak při vstřícnosti k využití energie větru může být značná část konfliktů v praxi řešitelná či považovaná za akceptovatelnou.

Tyto principy platí v širokém spektru limitujících okolností, od ochrany přírody a krajinného rázu přes střety s jinými technologiemi až po možnosti vyvedení výkonu do elektrizační soustavy. Je proto zřejmé, že většina limitů výstavby VtE silně závisí na míře celospolečenského uznání a podpory pro využití větrné energie, a také na úrovni kvality a konzistentnosti rozhodování veřejné správy. V tomto smyslu proto byly i definovány a nastaveny parametry jednotlivých scénářů.



#### 4.4 Integrace větrné energie do elektrické sítě

Výroba větrné energie ze své podstaty kolísá v závislosti na meteorologických podmínkách, a to zejména v důsledku časové variability větru v širokém spektru časových měřítek. Je proto otázkou, zda a v jaké míře lze elektřinu z VtE efektivně využít, respektive jakou hodnotu takto nerovnoměrně vyrobená energie má a jaké náklady (či úspory) z hlediska celého systému zapojení VtE přináší. Obecně se v této souvislosti hovoří o integraci větrné energie do elektrické sítě (elektrizační soustavy, energetického systému). Jde o otázky poměrně zásadní, neboť dobrá integrace vyrobené energie je podmínkou toho, aby využití větrné energie vůbec dávalo smysl.

Otázkami integrace větrné energie do elektrických sítí se zabývá široká řada různě zaměřených studií, zmínit lze například (Holtinen a kol., 2016). Obdobná problematika se týká též jiných na počasí (či jiných okolnostech) závislých zdrojů (či spotřeby), byť konkrétní specifika se u různých typů zdrojů mohou odlišovat. Nejvýznamnější a do značné míry nejpodobnější je v tomto ohledu téma integrace elektřiny z fotovoltaických zařízení (FVE). Nebude-li však zmíněno jinak, bude zde uvažována primárně problematika integrace elektřiny z VtE.

Při posuzování možností integrace vyrobené energie nelze sledovat VtE samy o sobě, neboť vždy záleží na vlastnostech energetického systému, ve kterém se VtE nachází. Obecně platí, že možnosti a efektivita využití elektřiny z VtE závisejí především na:

- podílu větrné energie v systému,
- flexibilitě systému, jeho rozměru a propojenosti,
- průběhu výroby jednotlivých VtE vůči sobě navzájem a vůči chování ostatních neflexibilních prvků systému,
- efektivitě mechanismů, umožňujících optimální využití různých prvků systému.

Pokud je zastoupení větrné energie nízké, pak VtE systém významněji neovlivňují. Není-li výroba VtE s ostatními neflexibilními prvky korelovaná, pak má variabilní elektřina z větru podobnou hodnotu, jakou by měla při stabilní výrobě. V případě, kdy korelace vůči zbytku systému existuje, může být hodnota větrné energie vyšší či nižší vůči stabilním a neflexibilním zdrojům, podle toho, zda převažuje výroba v době nedostatku zdrojů vůči spotřebě či naopak. Zapojení malého podílu VtE nepřináší v rámci systému prakticky žádné dodatečné náklady, naopak přínosem je diverzifikace zdrojů energie.

Při rostoucím podílu větrné energie začíná průběh výroby VtE ovlivňovat celý systém. V době vyšší větrnosti, a tedy i vyšší výroby z VtE, je elektřina v systému spíše nadbytek, což její hodnotu snižuje, a naopak v době, kdy VtE vyrábějí málo, je elektřina v systému spíše nedostatek a její hodnota je vyšší. V průměru má proto elektřina z VtE obvykle nižší hodnotu než elektřina ze zdrojů, které nejsou závislé na počasí. Praktickým důsledkem je obdržení nižší tržní ceny za elektřinu vyrobenou VtE. Tento „kanibalizační efekt“ je tím vyšší, čím vyšší je zastoupení VtE v síti, čím více je výroba VtE navzájem korelována a čím méně flexibilní jsou ostatní prvky systému.

Míra korelace různých VtE v rámci systému je okolností dosti zásadní. I při vysokém zastoupení větrné energie může být elektřina z VtE snadno integrovatelná, pokud různé VtE vyrábějí v různý čas a souhrnná výroba VtE ve výsledku kolísá jen málo. V tomto ohledu platí, že s rostoucí vzdáleností mezi VtE, případně též s rostoucí variabilitou orografických podmínek, se korelace mezi VtE snižuje. Je tedy výhodné, pokud jsou VtE rozptýleny napříč regiony, případně v rámci jednoho regionu je výhodnější vyšší variabilita orografie. Zásadním limitem je však kapacita přenosových sítí (a negativní roli hrají také ztráty spojené s přenosem energie na velkou vzdálenost). Od určité úrovně mohou být kapacity pro přenos energie vyčerpány a nad tuto úroveň již není možno výhody kombinace navzájem vzdálených VtE plně využít. Význam propojení geograficky vzdálených regionů se netýká pouze možnosti kombinace navzájem vzdálených VtE, výhodou je taktéž propojení regionů s vysokým zastoupením větrné energie s regiony, kde jsou VtE zastoupeny méně, respektive s regiony, kde jsou lepší možnosti akumulace energie či flexibility výroby či spotřeby (tedy obecně s regiony, kde lze vyrobenou energii snáze integrovat než v místě výroby). Kapacita a efektivní využití přenosových sítí jsou proto zásadní okolností ovlivňující možnosti integrace velkého množství větrné energie.

Ať již je propojení soustavy jakkoli kvalitní a míra variability výroby větrné energie jakákoli, nikdy se nelze zcela obejít bez flexibility poskytované jinými prvky systému. Tato flexibilita může existovat jak na straně výroby, tak na straně spotřeby, případně může být přímo vytvářena různými prostředky akumulace energie. Existence flexibility v systému, v široké škále časových měřítek, je nezbytná pro jeho fungování bez ohledu na zapojení VtE. Při vysokém podílu VtE (či jiných na počasí závislých zdrojů či spotřeby) se však požadavky na flexibilitu zvyšují, a to tím rychleji, čím vyšší je zastoupení VtE a souhrnná variabilita jejich výroby. Přitom platí, že v systému s vysokým zastoupením flexibilních zdrojů (například plynových či vodních elektráren s akumulací) lze snadno integrovat vyšší podíl větrné energie než v systému, kde převažují zdroje málo flexibilní (například jaderné elektrárny či uhelné elektrárny konstruované pro provoz v základním zatížení a na počasí závislé zdroje – větrné, sluneční a vodní elektrárny bez akumulace).

Je zřejmé, že vedle (obvykle) nižší tržní hodnoty elektřiny z větru jsou s integrací velkého podílu větrné energie spojeny i další (externí) náklady. Jedná se například o náklady na posilování elektrických sítí a zvýšený přenos energie, případně též na zdroje poskytující dodatečnou flexibilitu či bezpečnost (například na prvky akumulace energie, na bezpečnostní zálohy či kapacitní platby), pokud nefungují na čistě tržním základě, v krajním případě i na nákladné dispečerské zásahy. Přitom platí, že vynaložené náklady jsou do značné míry jednorázové (prvotní náklady na vývoj nových technologií, případně na rozvoj jejich masového uplatnění, jednorázová přestavba energetické infrastruktury) a zpravidla mají značné přínosy i mimo oblast integrace energie z větru (impuls k vývoji a zlevnění všeobecně přínosných technologií, možnost efektivnějšího využití všech zdrojů napříč geograficky vzdálenými oblastmi, zvýšení odolnosti systému vůči veškerým šokům, a tedy i obecné zlepšení energetické bezpečnosti, aj.).

Odhadnout podíl větrné energie, který lze rozumně integrovat do elektrické sítě, není úlohou s jednoduchým a jednoznačným řešením. V prvé řadě záleží na vlastnostech konkrétního systému (flexibilita, vnitřní propojenost, propojení navenek). Současně je ale také nutno počítat s tím, že schopnost integrovat elektřinu z VtE (a FVE) se s průběhem času mění, a to ve většině případů pozitivním směrem. Příčinou jsou například:

- propojování a zefektivňování trhů s energiemi a zlepšování různých regulací (=> efektivnější využívání existujících možností),
- posilování přenosových sítí,
- zlepšování možností řízení spotřeby a obecně rozšiřování flexibilní spotřeby (např. pro produkci tepla),
- zlepšující se predikce na počasí závislé výroby (a spotřeby) energie,
- tendence k instalaci VtE s vyšším kapacitním faktorem (využitím výkonu) díky větší výšce VtE a nižší hustotě výkonu VtE,
- snižování podílu neflexibilních zdrojů určených pro provoz v základním zatížení,
- růst kapacity flexibilních zdrojů a
- rychlý vývoj na poli akumulace energie.

Ohledně hledání horní hranice možného podílu energie z VtE a FVE by bylo možno citovat dlouhou řadu studií, které zkoumají možnosti integrace velmi vysokých podílů energie z VtE a FVE (např. [Jacobson a kol., 2018](#)). Proti těmto scénářům lze namítnout, že obvykle předpokládají značné využití flexibilních zdrojů (například zemní plyn, biomasa či vodní energie), které mohou mít problematické environmentální a jiné dopady, a/nebo spoléhají na technologie, které dosud nejsou technicky dotažené či ekonomicky konkurenceschopné (například masivní ukládání energie v podobě tepla či vodíku). Přinejmenším u kvalitnějších studií však nelze říci, že by se jednalo o představy nepromyšlené a nerealistické. Hypotézu, že bude možno v horizontu cca 20 – 30 let dobře integrovat vysoce nadpoloviční podíl energie z VtE a FVE, tak nelze ze současné perspektivy jasně potvrdit ani vyvrátit.

Konzervativním přístupem je vycházet ze současného stavu. Určitou indikací může být situace v regionech, kde již nyní tvoří elektřina z VtE nezanedbatelný podíl ([tab. 15](#)). V tomto ohledu vyniká z evropských zemí Dánsko (48 % v roce 2018) spolu se sousedními severoněmeckými

regiony, kde je situace podobná. Zde je však rovnováha v elektrické síti udržována do značné míry díky výměně s regiony, kde je mnohem nižší podíl větrné energie (jižní Německo a veškeré okolní státy), případně též lepší možnost akumulace energie (Skandinávie, Alpy). Tento region tak nelze brát za obecně použitelný analog.

Dánsko	48%
Irsko	33%
Portugalsko	27%
Německo	26%
Velká Británie	22%
Španělsko	21%
Švédsko	15%
Rakousko	13%
Litva	12%
Řecko	12%
Nizozemí	12%
Rumunsko	11%
Belgie	10%
Estonsko	9%
Polsko	9%
Chorvatsko	8%
Itálie	7%
Francie	7%
Finsko	7%
Kypr	6%
Bulharsko	3%
Lotyšsko	2%
Maďarsko	2%
Česko	1%
Slovinsko	0%
Slovensko	0%
<b>EU28</b>	<b>15%</b>

**Tab. 15:** Podíl elektřiny z větru na celkové spotřebě elektřiny v zemi v roce 2019 (podle [Wind Europe, 2020](#))

Za reprezentativnější regiony lze proto považovat například Pyrenejský poloostrov, Velkou Británii či Texas. V těchto třech velkých regionech dosahuje podíl větrné energie úrovně okolo či mírně nad 20 %, přičemž integrace elektřiny z VtE zde není neúměrně usnadněna výměnou energie s regiony s nižším zastoupením VtE. Na základě spíše povrchního průzkumu zdejších realit se jeví, že integrace větrné energie zde nebyla a není zcela bez obtíží, nicméně kritickou okolností dosud byla spíše nedostatečná kapacita elektrických sítí uvnitř těchto regionů nežli variabilita výroby VtE z hlediska regionů jako celků. Je pozoruhodné, že v těchto regionech postupem času zřejmě nedocházelo k celkovému zhoršování situace na poli integrace elektřiny z větru s rostoucím podílem VtE, neboť současně docházelo k posilování elektrických sítí, zvyšování podílu plynových elektráren a podstatnou roli zřejmě hrály též přizpůsobující se regulace elektroenergetiky a s tím související lepší fungování trhů s elektřinou.

O tom, do jaké míry může energetický systém bez zásadních změn poměrně hladce integrovat dále se zvyšující podíl energie z VtE (a FVE) lze ze současné perspektivy spíše spekulovat. Určitou indikací mohou být výsledky studie ([International Energy Agency, 2014](#)), podle které bylo v rámci tehdejších technických možností (z perspektivy roku 2014) možno dobře integrovat cca 25 % až 40 % podíl energie vyrobené FVE a VtE. Podle této studie je možný i vyšší podíl, avšak za cenu omezení výroby v době nejvyšší produkce. Výhodou je samozřejmě dosažení tohoto podílu kombinací FVE a VtE než převahou jednoho z těchto zdrojů; pro samotné VtE by uvedený podíl byl mírně nižší.

Jeví se tedy, že integrace větrné energie při podílu na spotřebě okolo 20 % nepřináší zásadní obtíže či náklady, pokud je efektivně využíváno možností, které nabízí stávající prvky systému a VtE nejsou v rámci území koncentrovány do regionů s nedostatečnou kapacitou elektrických sítí. Naopak podíl VtE nad 30 % již může být za současných okolností dosti problematický, což se může projevit například citelně narůstajícím podílem nuceného odstavení VtE.

To je hodnocení odpovídající současnému stavu. Budoucí možnosti integrace větrné energie mohou být s ohledem na probíhající a předpokládaný vývoj podstatně vyšší. Jak upozorňuje například ([International Energy Agency, 2014](#)), pokud má být v budoucnu integrován významný podíl energie z VtE a FVE, je nejlepší a neekonomičtější cestou s těmito potřebami počítat již v předstihu v rámci přirozené obměny či výstavby energetických zařízení – například motivací k výstavbě flexibilních zdrojů na úkor zdrojů méně flexibilních či uvážlivým směřováním designu přenosových a distribučních sítí. Mezi preventivní investice, které mohou v budoucnu značně usnadnit a zlevnit integraci vysokého podílu VtE a FVE, lze zařadit také různé formy podpory výzkumu, vývoje a realizací nejrůznějších technologií a konceptů skladování energie a flexibilní spotřeby, přestože z krátkodobého pohledu nemusí dávat ekonomický smysl. Připravenost systému a technologií může v budoucnu ušetřit nemalé náklady, a celkové náklady na integraci vysokých podílů energie z VtE a FVE pak nemusí být vysoké.

Z pohledu České republiky je nutno vzít v úvahu specifika a nejistoty týkající se lokálních podmínek.

V prvé řadě není jasné, jaká bude budoucí struktura energetiky, neboť o vývoji v energetice lze spolehlivě říci pouze to, že probíhá obvykle odlišně od veškerých prognóz. Pokud by v budoucnu v systému silně dominovala neflexibilní výroba z jaderných elektráren a FVE bez výrazného rozvoje jiných zdrojů flexibility (akumulace, spotřeba), potom by mohl být budoucí prostor pro integraci energie z VtE s přihlédnutím k relativně nevelkému rozměru České republiky i nižší, než výše zmíněných 20 – 30 %. Stejně tak je ale možné, že budoucí struktura a fungování české elektroenergetiky bude (bez zohlednění přeshraniční výměny) pro integraci energie z variabilních zdrojů natolik příznivější, že bude možno dobře integrovat i podstatně vyšší podíl elektřiny z VtE.

Situace na samotném území České republiky by však hrála rozhodující roli pouze v případě, pokud by měla být Česká republika chápána jako ostrov. S ohledem na její nevelký rozměr a polohu uprostřed Evropy ale zásadní roli hraje propojení se zahraničím (fyzicky, obchodně i politicky), které je kvalitní a ve všech ohledech se dlouhodobě posiluje. Spíše než jako ostrov lze proto Českou republiku z hlediska integrace energie z větru považovat za dílčí region v rámci širšího středoevropského prostoru. Variabilitu výroby VtE na území České republiky lze do značné míry vyrovnávat pomocí zdrojů mimo její území, současně je však nutno počítat s vlivy provozu VtE (a jiných zdrojů) v zahraničí. Pokud by mezinárodní hranice vůbec nebyly z hlediska energetiky v rámci Evropy uvažovány, pak lze pro odhad dobře integrovatelného podílu větrné energie použít výše zmíněný odhad (tedy v současnosti cca 20 – 30 % spotřeby energie, v budoucnosti nejspíše více) a vztáhnout jej i na území České republiky.

Je tedy zřejmé, že na otázku, jak vysoký podíl elektřiny z VtE v České republice lze integrovat do elektrické soustavy, neexistuje jednoznačná odpověď. Za prvé nelze stanovit přesnou hranici „integrovatelného“ podílu větrné energie. Obtížnost integrace roste plynule s rostoucím podílem VtE a hranice akceptovatelnosti s tím spojených nákladů bude záviset mimo jiné na poměru ceny elektřiny z větru vůči jiným zdrojům energie a na řadě dalších okolností. Za druhé lze jen obtížně předpovídat, jakým směrem se bude ubírat vývoj v energetice, a to jak z pohledu její struktury (charakter a objem výroby, spotřeby a akumulace), tak i z pohledu organizace, řízení a propojení české elektroenergetiky se zahraničím.

S vědomím těchto nejistot a s vědomím, že tato problematika by zasloužila hlubší a cílenější analýzu lze odhadovat, že:

- při realizaci konzervativního scénáře (přibližně 10 % současné spotřeby elektrické energie v ČR) nebude integrace zde vyrobené větrné energie při efektivním fungování elektroenergetiky

znamenat žádnou signifikantní zátěž a zcela rozhodující bude mezinárodní kontext. Role České republiky bude spočívat (a již spočívá) zejména v tom, do jaké míry bude přispívat k integraci energie z větru ve (středoevropském měřítku, a to jednak skrze poskytování flexibility, a jednak skrze poskytování kapacity pro dálkový přenos elektřiny napříč naším územím. Při propojení energetických trhů není a nebude pro integraci elektřiny z českých VtE rozhodující výroba ostatních VtE na našem území, ale jejich korelace s výrobou VtE v severním Německu (respektive obecně na severu a severozápadě od území České republiky). V době vysoké výroby VtE v tomto regionu je v průměru vyšší i výroba českých VtE a naopak, což (mírně) snižuje tržní hodnotu, respektive (mírně) ztěžuje integraci větrné elektřiny vyrobené v České republice bez ohledu na podíl domácích větrných zdrojů. České VtE jsou na tom ale lépe než například VtE v severním Německu, kde je (a bude) tento negativní vztah mezi výrobou a cenou elektřiny podstatně silnější než v České republice,

- při realizaci optimistického scénáře (přibližně 30 % současné spotřeby elektrické energie v ČR) dosti záleží na budoucím vývoji v oblasti technologického vývoje, struktury české i zahraniční elektroenergetiky či míry propojení se zahraničím – fyzicky, obchodně i politicky. Ani v tomto scénáři pravděpodobně nebude integrace větrné energie vyrobené v České republice limitujícím faktorem, otázky s ní spojené však již mohou hrát podstatnou roli. To je mimo jiné reflektováno při designu uvažovaných typů VtE (kap 3.2.2, tab. 8), kde jsou uvažovány VtE s relativně nižší hustotou výkonu, které vedou k relativně nižší variabilitě výroby. Pokud by se Česká republika z pohledu elektroenergetiky měla uzavřít vůči zahraničí, pak by efektivní využití takového podílu VtE již nejspíše vyžadovalo navýšení flexibility systému vůči současnému stavu a kolísání výroby českých VtE by zřejmě bylo jedním z rozhodujících prvků ovlivňujících provoz izolované české elektrizační soustavy. Při propojení se zahraničím na minimálně současné úrovni však nejspíše ani v tomto scénáři nebude integrace elektřiny z českých VtE komplikovaná a středoevropský (či celoevropský) kontext nejspíše bude i v tomto případě podstatnějším faktorem nežli samotná realizace VtE na území České republiky.



## **5. Shrnutí a závěr**

Energetický potenciál větru je značný. Není sice z lidské perspektivy prakticky neomezený, jako je tomu v případě přímé energie slunečního záření či pokročilých forem využití energie jaderných reakcí. Je však natolik velký, že může teoreticky pokrýt veškerou, nebo přinejmenším rozhodující část našich energetických potřeb, a to nejen v měřítku celé planety a lidstva, ale i v rámci omezeného prostoru České republiky, jejích obyvatel a ekonomiky. Toto tvrzení do značné míry platí i v případě, pokud se vezme v úvahu skutečnost, že je z klimatologického pohledu praktické a rozumné využít pouze část dostupné energie větru, a současně jsou respektovány základní územní a ekonomické limity pro výstavbu VtE. Lze orientačně odhadovat, že takový „maximální scénář“ využití větrné energie na území České republiky, který by odpovídal nejvyššímu možnému využití energie větru v rámci těchto omezení, by byl řádově na úrovni celkové současné spotřeby elektřiny v ČR.

Využití větrné energie na úrovni „maximálního scénáře“ je však v reálném světě stěží možné, neboť podobně jako u jiných forem energie jsou rozhodující různé praktické okolnosti. Obecně jde především o

i) dostupnost a kapacitu elektrických sítí a možnost efektivního využití (integraci) vyrobené energie s ohledem na její proměnlivost v čase,

ii) dostupnost lokalit vhodných pro výstavbu VtE z hlediska větrnosti a možnosti povolení jejich výstavby.

Dostupnost a kapacita elektrických sítí a integrace vyrobené energie jsou a budou klíčovým limitem pro využití energie větru v řídkce osídlených a/nebo pro větrnou energii velmi příznivých regionech. V prostoru České republiky však nejspíše vždy půjde pouze o okolnost částečně snižující ekonomickou hodnotu elektřiny z větru, nikoli o zásadní limit jejího využití. Kritickou okolností limitující realizovatelnost VtE zde jsou a nejspíše vždy budou územní (a rozměrová) omezení pro jejich výstavbu, jejichž rozbor je proto jádrem této studie.

V rámci této studie a ve studiích jí předcházejících je realizovatelnost VtE analyzována ve dvou krocích:

1) V rámci odvození technického potenciálu jsou aplikována jednoznačně definovatelná kritéria, a to technické parametry předpokládaných VtE, vyloučení míst, kde lze na základě objektivních kritérií očekávat nemožnost povolení výstavby VtE (jde například o minimální odstup od sídel a vyloučení zvláště chráněných území z hlediska ochrany přírody, jako jsou například CHKO) a zahrnutí pouze těch lokalit, jejichž větrnost naznačuje, že v daném místě bude výstavba VtE ekonomicky rentabilní,

2) v rámci realizovatelných scénářů je odhadován dopad ostatních, obtížně definovatelných či zjištěných okolností, které mají v praxi zásadní dopad na realizovatelnost VtE. Okolnosti vedoucí k nerealizaci teoreticky možných VtE z různých nahodilých důvodů (lokální technická či environmentální omezení či neakceptace VtE ze subjektivních důvodů) jsou reflektovány plošnou redukcí uvažovaného počtu VtE. Podstatně nižší realizovatelnost je dále předpokládána v prostoru přírodních parků či oblastí NATURA a v konzervativním scénáři též v lesích. Současně je na vrub akceptovatelnosti VtE a ochrany krajinného rázu, vzájemného ovlivnění VtE a kapacity elektrických sítí uvažován limit pro plošnou hustotu využití větrné energie, což snižuje předpokládané množství VtE v regionech s jejich největším potenciálem.

Pro obecnou úroveň realizovatelnosti VtE je zdaleka nejdůležitějším faktorem míra politické a společenské podpory pro využití větrné energie a kvalita fungování veřejné správy, neboť na nich zásadním způsobem závisí výsledek rozhodování o osudu projektů VtE. Tyto okolnosti jsou proto rozlišujícím kritériem mezi uvažovanými scénáři budoucího využití větrné energie, kdy

- konzervativní scénář předpokládá spíše nevýraznou společenskou a politickou podporu pro využití větrné energie, zatímco

- optimistický scénář předpokládá silnou společenskou a politickou podporu pro využití větrné energie.

Pro získání perspektivy je nutno doplnit, že situaci v České republice v posledních zhruba 10 letech, kdy dominovala negativní prezentace větrné energie, vnímání obnovitelných zdrojů veřejností bylo poškozeno nepovedenou regulací podpory fotovoltaických elektráren a povolování nových projektů bylo prakticky zablokováno, by odpovídal scénář „nulový“, tedy scénář se zanedbatelným využitím větrné energie, hluboko pod úroveň scénáře konzervativního.

Z technického pohledu lze očekávat pokračování trendu k nárůstu rozměru VtE, přičemž platí, že větší VtE obvykle umožňují levnější výrobu energie a současně umožňují i využití méně větrných lokalit. Velikost VtE však může být limitována v rámci povolenacího řízení, proto je v konzervativním scénáři předpokládán menší nárůst rozměru VtE než v optimistickém. Očekáváno je také pokračování dosavadního trendu k výstavbě VtE s nižší hustotou výkonu (tedy s nižším poměrem výkonu vůči ploše rotoru), neboť VtE s nižší hustotou výkonu umožňují lepší integraci vyrobené energie do energetického systému (za cenu relativně nižší výroby v nejméně větrných okamžicích). Tato vlastnost je podstatná zejména v případě vysokého zastoupení větrné energie v energetickém mixu, proto je nižší hustota výkonu VtE uvažována v optimistickém scénáři.

Z alternativních technologií se jako nepodstatný jeví potenciál malých VtE, mimo jiné z důvodu vysokých nákladů na jednotku vyrobené energie. Naopak teoreticky značný může být potenciál létajících VtE, jde však o technologie v dosud pionýrském stádiu a není zřejmé, zda se jim někdy podaří překonat zásadní bariéry většího rozšíření (například ekonomika a bezpečnost). Potenciál těchto technologií proto nebyl v této studii uvažován.

Na základě provedených výpočtů a úvah je odhadováno, že:

- v konzervativním scénáři lze do roku 2040 očekávat výstavbu přibližně **800 VtE** o výkonu **2 500 MW** a výrobě energie **6,2 TWh ročně**,

- v optimistickém scénáři lze do roku 2040 očekávat výstavbu přibližně **1 400 VtE** o výkonu **7 000 MW** a výrobě energie **18,8 TWh ročně**.

**Při vůli k využívání větrné energie v České republice je tedy reálným scénářem pokrytí cca 10 – 25 % spotřeby elektřiny energií větru (vztaženo ke spotřebě elektřiny 70 GWh ročně). V případě silné celospolečenské podpory pro větrnou energii (a/nebo nižší spotřeby elektřiny) může být tento podíl i vyšší, a naopak. S ohledem na určitou setrvačnost současného stavu lze za reálnou odhadovat realizaci 1/3 uvedeného objemu do roku 2030 a 2/3 tohoto objemu mezi roky 2030 a 2040. Nevyhnutelnou podmínkou realizace jakéhokoli nenulového scénáře využití větrné energie je vůle ze strany autorit vytvořit takové podmínky, pravidla a přispívat k takové společenské atmosféře, které výstavbu VtE vůbec umožní.**

Použitý postup je nevyhnutelně spojen se značnou mírou nejistoty a subjektivních voleb. Prezentované výsledky je nutno chápat jako orientační odhad úrovně, na které se pohybují reálné možnosti větrné energie v České republice, nikoli jako exaktní hodnoty. Výsledek by bylo možno částečně zpřesnit detailnější a hlubší analýzou podmínek pro VtE, jak co se týče různých limitujících okolností (například ohledně ochrany přírody, vyvedení výkonu či střetů s jinými technologiemi), tak co se týče větrných podmínek. Řadě nejistot se však prakticky není možno vyhnout. Zásadním parametrem je například úroveň ekonomické rentability výstavby VtE, která závisí na řadě těžko předvídatelných faktorů technického, ekonomického a politického rázu. Zhoršení ekonomických podmínek pro VtE vůči použitým předpokladům může vést i ke značnému snížení rozsahu potenciálně vhodných lokalit, a tedy ke snížení větrného potenciálu. Naopak jejich zlepšení může rozsah vhodných lokalit i větrný potenciál podstatně zvýšit.

Podle porovnání zohledňujícího rozdílnosti podmínek pro větrnou energii v různých regionech se **dosažený výsledek jeví jako konzistentní s dosavadním rozvojem větrné energetiky v západoevropských zemích** a z této perspektivy **jej lze považovat za zcela reálný**.

## Literatura

Adams A.S., Keith, D.W. (2013): Are global wind power resource estimates overstated?. *Environmental Research Letters*, 8(1), 015021.

Carvalho D., Rocha A., Gómez-Gesteira M., Santos C.S. (2017): Potential impacts of climate change on European wind energy resource under the CMIP5 future climate projections. *Renewable energy*, 101, 29-40.

Cervarich M.C., Roy S.B., Zhou, L. (2013): Spatiotemporal structure of wind farm-atmospheric boundary layer interactions. *Energy Procedia*, 40, 530-536.

Cetkovský S. a kol. (2010): Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí. Ústav Geoniky AV ČR, Brno, 208 s. ISBN 978-80-86407-84-5

Deutsche WindGuard (2020): Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland – Jahr 2019, 11 s.

Holttinen H. a kol. (2016). Design and operation of power systems with large amounts of wind power: Final summary report, IEA WIND Task 25, Phase three 2012-2014.

International Energy Agency (2014): The power of transformation; wind, sun and the economics of flexible power systems. IEA, 234 s.

International Energy Agency (2019): *Offshore wind outlook 2019*. IEA, 96 s.

Jacobson M.Z., Delucchi M.A., Cameron M.A., Mathiesen B.V. (2018). Matching demand with supply at low cost in 139 countries among 20 world regions with 100% intermittent wind, water, and sunlight (WWS) for all purposes. *Renewable Energy*, 123, 236-248.

Hanslian D., Hošek J., Chládková Z., Pop L., Svoboda J., Štekl J. (2007): Určení technického potenciálu větrné energie na území České republiky. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 78s + přílohy.

Hanslian D., Hošek J., Štekl J. (2008): Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území České republiky. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 32s. [http://www.ufa.cas.cz/files/OMET/potencial\\_ufa.pdf](http://www.ufa.cas.cz/files/OMET/potencial_ufa.pdf)

Hanslian D., Hošek J. (2012): Aktualizovaný odhad realizovatelného potenciálu větrné energie z perspektivy roku 2012. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 23 s.

Hanslian D., Chládková Z., Pop L., Hošek J. (2012): Modely pro konstrukci větrných map v ČR. *Meteorologické zprávy*, 65, č.2, 36-44.

Hanslian D. (2014): *Analýza výsledků měření větru*. Dizertační práce. Katedra meteorologie a ochrany prostředí, Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 159 s.

Hanslian D., Hošek J., Chládková Z., Pop L. (2014): Větrná mapa České republiky pro výšku 100 m nad zemským povrchem. *Meteorologické zprávy*, 67, č.4, 97-105.

Hanslian D., Hošek J. (2015): Combining the VAS 3D interpolation method and Wind Atlas methodology to produce a high-resolution wind resource map for the Czech Republic. *Renewable Energy*, 77, 291-299.

- Harris R., Zhou L., Xia G. (2014): Satellite observations of wind farm impacts on nocturnal land surface temperature in Iowa. *Remote Sensing*, 6(12), 12234-12246.
- Hueging H., Haas R., Born K., Jacob D., Pinto J.G. (2013): Regional changes in wind energy potential over Europe using regional climate model ensemble projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(4), 903-917.
- Chalupa, Š., Hanslian D. (2015): Analýza větrné energetiky. Komora obnovitelných zdrojů energie a Česká společnost pro větrnou energii, Praha, 21 s.
- Keith D.W., DeCarolis J.F., Denkenberger D.C., Lenschow D.H., Malyshev S.L., Pacala S., Rasch P.J. (2004): The influence of large-scale wind power on global climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(46), 16115-16120.
- Loss S.R., Will T., Marra P.P. (2015). Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46.
- Miller L.M., Brunzell N.A., Mechem D.B., Gans F., Monaghan A.J., Vautard R., Keith D.W., Kleidon A. (2015): Two methods for estimating limits to large-scale wind power generation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(36), 11169-11174.
- Miller L.M., Gans F., Kleidon A. (2011): Estimating maximum global land surface wind power extractability and associated climatic consequences. *Earth System Dynamics*, 2, 1-12.
- Miller L.M., Keith D.W. (2018): Climatic impacts of wind power. *Joule*, 2(12), 2618-2632.
- Moravec D., Barták V., Puš V., Wild J. (2018): Wind turbine impact on near-ground air temperature. *Renewable energy*, 123, 627-633.
- Tobin I., Vautard R., Balog I., Bréon F.M., Jerez S., Ruti P.M., Thais F., Yiou P. (2015): Assessing climate change impacts on European wind energy from ENSEMBLES high-resolution climate projections. *Climatic Change*, 128(1-2), 99-112.
- Wind Europe (2020): Wind energy in Europe in 2019, 25 s.
- Zhou L., Tian Y., Chen H., Dai Y., Harris R.A. (2013): Effects of topography on assessing wind farm impacts using MODIS data. *Earth Interactions*, 17(13), 1-18.