

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

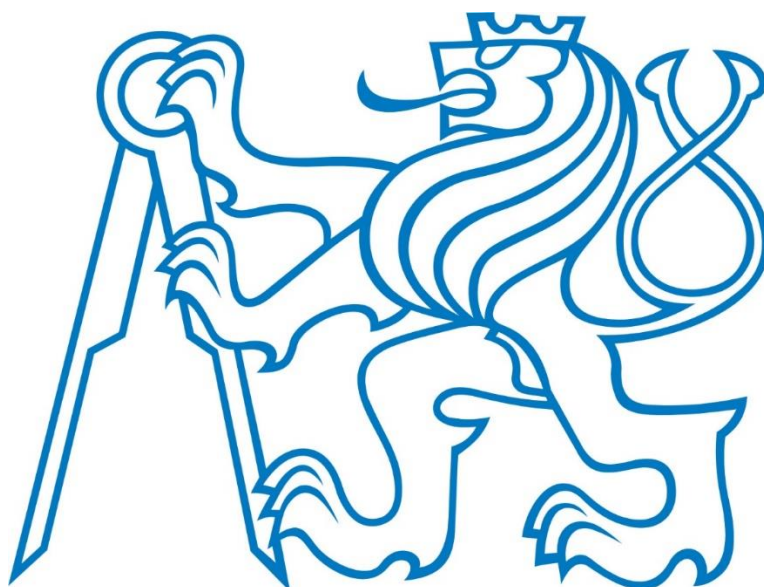
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Větrná energie pro malou obec

Wind energy for small village



Diplomant: Bc. Filip Smolka

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Management energetiky a elektrotechniky

Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Smolka** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **457054**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Větrná energie pro malou obec

Název diplomové práce anglicky:

Wind energy for small village

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte varianty využití větru pro vytápění a dodávku elektřiny
Odhadněte investiční a provozní výdaje variant
Na základě výpočtu ekonomické efektivity doporučte optimální variantu

Seznam doporučené literatury:

VÍTEK, Miroslav. Ekonomika dopravních energetických systémů. Vyd. 2. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04181-9.
MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Miroslav Vítek, CSc., 13116

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **16.09.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.08.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **19.02.2022**

Ing. Miroslav Vítek, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

.....

podpis

V Praze dne 12.8. 2021

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc., za odborné vedení, cenné rady a připomínky, kterými přispěl ke zpracování této závěrečné práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá možností využití větrné energie pro zásobování malé obce elektrickou energií pro účely vytápění a nekomerční spotřeby. Zkoumá potenciál využití větrné energie v lokalitě, možnost využití investiční dotace a provozní podpory, rozebírá varianty centralizované a decentralizované akumulace takto vyrobené elektrické energie do bateriových úložišť a následně posuzuje jejich ekonomickou efektivnost.

Klíčová slova

Větrná energie, větrná elektrárna, baterie, bateriové úložiště, akumulace elektrické energie, vytápění

Abstract

This diploma thesis examines the option of utilizing wind energy to supply a small village with electricity for the purposes of heating and non-commercial use. It examines the potential for use of wind energy at a determined location, the possibility of using investment subsidies and operational subsidies, the options of centralized and decentralized accumulation of produced energy by the means of battery storage and it calculates their economic effectiveness.

Keywords

Wind power, wind turbine, battery, battery storage, electricity storage, heating

Obsah

1	Úvod	4
2	Obecné údaje	5
2.1	Popis obce	5
2.2	Rešerše větrných elektráren.....	6
2.2.1	Výkon větru	6
2.2.2	Rozdělení větrných elektráren	6
2.2.3	Regulace větrných motorů	9
2.3	Rešerše bateriových úložišť.....	11
2.3.1	Parametry systémů akumulace energie	11
2.3.2	Dostupné systémy bateriových úložišť.....	12
2.4	Rešerše dotačních titulů	16
2.4.1	Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost – OP TAK	16
2.4.2	Modernizační Fond.....	16
2.5	Energetické potřeby obce	18
2.5.1	Teplo	18
2.5.2	Elektřina.....	20
2.5.3	Odhady průběhů roční spotřeby	21
2.5.4	Odhady denních průběhů spotřeby	24
2.5.5	Prognóza vývoje spotřeby	26
3	Dimenzování systému	28
3.1	Stanovení větrných poměrů	28
3.1.1	Větrná mapa ve výšce 100 metrů.....	28
3.1.2	Větrná mapa ve výšce 10 metrů.....	30
3.1.3	Stanovení výpočtových parametrů	31
3.1.4	Výsledná rozdělení	32
3.2	Model výroby.....	33
3.3	Model výroby s akumulací.....	34
3.4	Volba elektrárny	35
3.4.1	Popis	35
3.4.2	Enercon E-53 810 kW	37
3.4.3	Enercon E-92 2350 kW	37
3.4.4	Enercon E-115 3000 kW	38
3.4.5	Výstupy modelu.....	39
3.4.6	Volba elektráren	40
3.5	Využití akumulace během dne	42

4	Sestavení variant	43
4.1	Nulová varianta	43
4.1.1	Stanovení parametrů nulové varianty.....	43
4.1.2	Náhradní dům staré zástavby (do roku 2005)	44
4.1.3	Náhradní dům 2005 až současnost	45
4.1.4	Náhradní dům budoucí výstavby (2020+)	45
4.1.5	Stanovení distribuční sazby	46
4.1.6	Prognóza cen elektřiny	46
4.1.7	Příklad možného uspořádání.....	46
4.2	Společná část variant – vstupy ekonomického modelu	47
4.2.1	Větrná elektrárna	47
4.2.2	Vedení do obce.....	48
4.2.3	Transformátory.....	48
4.2.4	Úhrada nákladů na distribuci	49
4.2.5	Úhrada nákladů na rezervovaný výkon	49
4.2.6	Výkupní cena elektřiny	50
4.2.7	Odpisy.....	51
4.2.8	Stanovení výše diskontu	51
4.2.9	Eskalace provozních výdajů	51
4.2.10	Příjmy obce.....	51
4.2.11	Snížení dotace o alternativní investici.....	52
4.2.12	Hraniční cena odběru pro obyvatele.....	52
4.3	Varianta centrální akumulace	53
4.3.1	Popis varianty	53
4.3.2	Ztráty	53
4.3.3	Investiční výdaje	55
4.3.4	Provozní výdaje	56
4.3.5	Výstupy modelu.....	57
4.4	Varianta decentralizované akumulace	62
4.4.1	Popis varianty	62
4.4.2	Investiční výdaje	62
4.4.3	Provozní výdaje	65
4.4.4	Ztráty	65
4.4.5	Výstupy modelu.....	66
4.4.6	Hledisko odběratele	69
5	Závěr.....	71

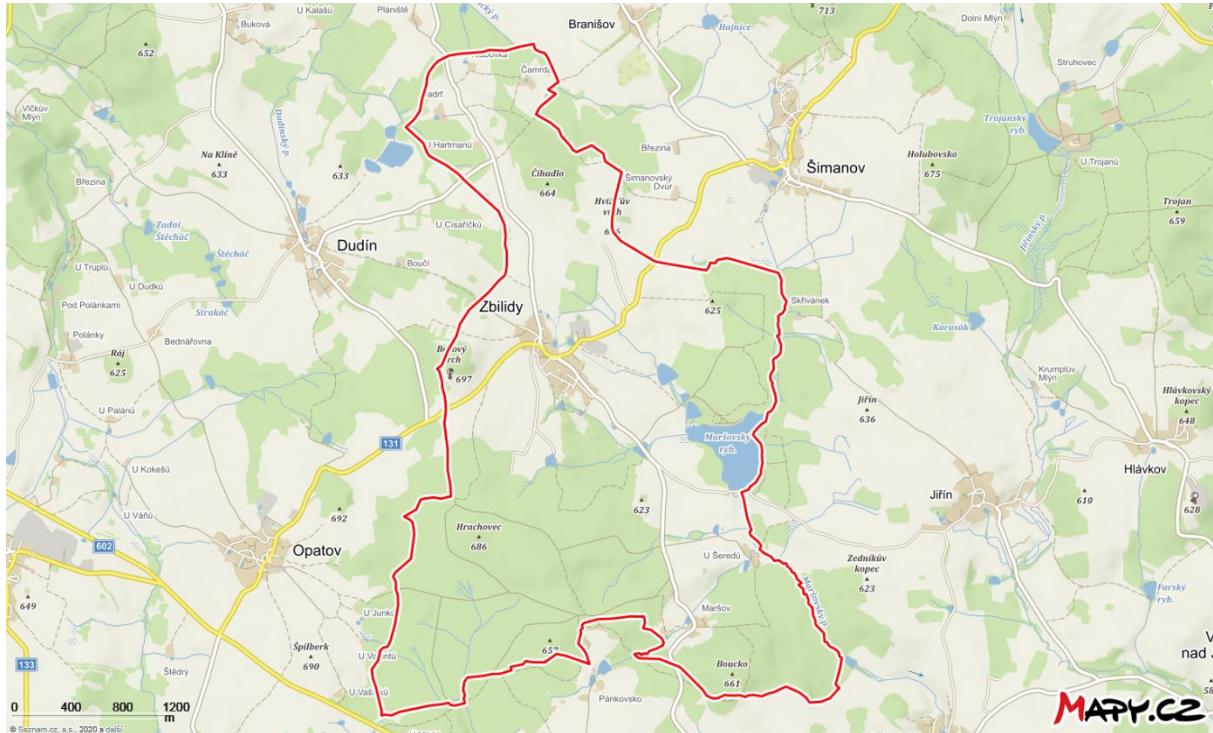
5.1	Shrnutí	71
5.2	Závěr	72
5.3	Doporučení investorovi	73
6	Použité zdroje	74

1 Úvod

Ve zkoumané obci dosud většina obyvatel využívá k vytápění necertifikovaná lokální topeniště. To již v blízké budoucnosti nebude v souladu s platnou legislativou a rovněž to má negativní dopad na kvalitu ovzduší v obci. Cílem práce je prozkoumat možnost pokrytí energetických potřeb obce pomocí větrné energie. Protože větrná elektrárna je intermitentním zdrojem, rozhodl jsem se zabývat její kombinací s bateriovým úložištěm jako řešením časového nesouladu mezi výrobou a spotřebou.

2 Obecné údaje

2.1 Popis obce



Obrázek 1: Mapa opce Zbilidy [1]

Zbilidy jsou obec v kraji Vysočina. Nachází se 13 kilometrů od města Jihlavy a prochází jí silnice 131. Leží v nadmořské výšce 636 m.n.m. a katastrální plocha obce je 1 043 hektarů. [2] Žije v ní 211 obyvatel (k 1.1. 2019). [3] V obci se nachází 93 rodinných domů a jeden bytový dům o osmi bytech. [4] Zástavba v obci je venkovského charakteru, převažují rodinné domy a venkovská stavení do dvou podlaží. V obci se nachází penzion Tůma, budova obecního úřadu spojená s kulturním domem a hostincem, zemědělské družstvo, dílna, truhlářství a obchod se smíšeným zbožím. Obec je rovněž vybavena čistírnou odpadních vod.

Obec není plynofikovaná a budovy jsou vytápěné lokálními topeništi, což má negativní dopad na kvalitu ovzduší v obci. Zlepšení kvality ovzduší je hlavní motivací pro realizaci projektu zásobování teplem pomocí větrné energie. Pozemek, na němž je zvažována výstavba větrné elektrárny se nachází přibližně kilometr od obce směrem na jihozápad, podél silnice 131.

Zveřejněný územní plán obce počítá se zachováním venkovského charakteru obce při další výstavbě. [5] Toho hledisko je nutné při návrhu variant respektovat a citlivě zvolit umístění potřebných technických zařízení.

2.2 Rešerše větrných elektráren

2.2.1 Výkon větru

Základním principem fungování větrné elektrárny je přeměna kinetické energie pohybujícího se vzduchu na kinetickou energii otáčejícího se rotoru elektrárny, která je pomocí generátoru přeměňována na energii elektrickou. Z toho plyne, že výkon větrné elektrárny je omezen kinetickou energií pohybující se masou vzduchu, která prochází plochou větrného motoru. Vztah pro měrný výkon větru vztažený na plochu větrného motoru je uveden v literatuře takto. [6] Ve vzorci vyjadřuje v rychlost větru a ρ hustotu vzduchu.

$$P_v = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \rho * v^3$$

Je tedy zřejmé, že výkon větru závisí na třetí mocnině jeho rychlosti, tedy očekávaná rychlost větru a její průběh je naprosto klíčovým parametrem pro provoz větrné elektrárny.

Dále ještě vyjádříme účinnost přeměny energie koeficientem c_p ,

$$P_v = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \rho * v^3 * S * c_p$$

který je dán součinem účinností rotoru, generátoru a účinnosti převodovky.

$$c_p = \eta_{rot} * \eta_{gen} * \eta_{přev}$$

Hodnota c_p v praxi nemůže překročit limit daný Betzovým pravidlem, tedy hodnotu 0,59. [7]

2.2.2 Rozdělení větrných elektráren

Větrné elektrárny se rozdělují na elektrárny s větrným motorem odporovým a větrným motorem vztakovým, podle druhu aerodynamických sil působících na rotor. [8] Odporové větrné elektrárny se v praxi vzhledem k nízké účinnosti cca 20 % téměř nepoužívají, [9] nebudou tedy ani zvažovány ve fázi návrhu řešení, a proto není nutné se jimi podrobněji zabývat.

Větrné elektrárny se vztakovým motorem využívají k přeměně energie větru vztakové síly. Velikost axiální síly působící na listy je dána rovnicí.

$$F_a = \frac{1}{2} \rho * A(v_1^2 - v_2^2)$$

kde ρ představuje hustotu pohybujícího se vzduchu, A představuje plochu větrného motoru, v_1 představuje rychlost proudu vzduchu před ztrátou energie na větrném motoru a v_2 představuje rychlost větru po ztrátě energie na větrném motoru. [10]

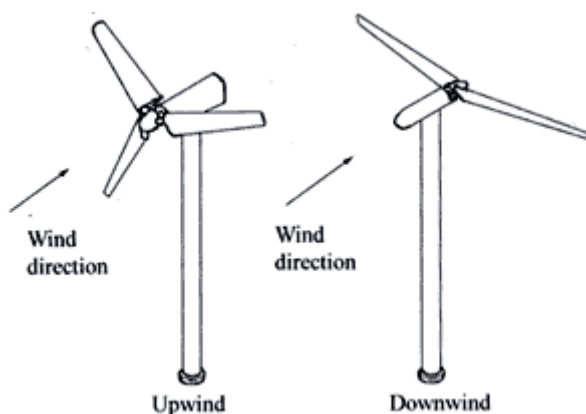
Výkon větru procházející plochou větrného motoru je dán rovnicí,

$$P = \frac{1}{4} \rho * A(v_1^2 - v_2^2) * (v_1 - v_2)$$

kde ρ představuje hustotu pohybujícího se vzduchu, A představuje plochu větrného motoru, v_1 představuje rychlost proudu vzduchu před ztrátou energie na větrném motoru a v_2 představuje rychlost větru po ztrátě energie na větrném motoru. Tato hodnota je vyšší než skutečný výkon větrného motoru, pro jehož získání je třeba vynásobit výkon větru součinitelem výkonosti c_p , který podle Betzova pravidla může dosahovat maximálně hodnoty 0,59. Součinitel výkonosti není konstantní, jeho velikost se mění s rychlostí větru. [11]

Vztlakové motory se dále dělí podle orientace na motory s vodorovnou osou rotace a motory se svislou osou rotace.

Motory s vodorovnou osou rotace obvykle mají 1-4 listy rotoru, nejčastěji právě 3 listy, jejich účinnost je přibližně 45 % s maximem až 48 % a náběhová rychlost se pohybuje v rozsahu 3-6 m/s. Podle toho, na které straně konstrukce vůči větru je umístěn rotor, se dále dělí na návětrné a závětrné elektrárny. [12]



Obrázek 2: Návětrná (vlevo) a závětrná (vpravo) elektrárna. [13]

Dalším aspektem konstrukce vztlakového větrného motoru je počet rotorových listů. V praxi nejobvyklejší konstrukcí je návětrný motor se třemi rotorovými listy. Velmi vysoké počty rotorových

listů podobné historickým větrným motorům jsou vzhledem k velké celkové ploše rotoru velmi náchylné na poškození nadměrnou rychlostí větru. Rotory se sudým počtem listů (dvoulisté) jsou méně výhodné kvůli zvýšenému mechanickému namáhání rotorové hlavy páčením. V okamžiku, kdy libovolný list prochází nejvyšším bodem své dráhy a je maximálně namáhán působením větru ve vodorovném směru, míjí se protilehlý list se sloupem větrné elektrárny, kde je proti působení větru chráněn. Rotorová hlava tedy musí být konstruována tak, aby umožňovala naklápění rotoru a tím omezovala síly působící na celou konstrukci. Stejný problém se projevuje i u konstrukcí s jedním rotorovým listem. Výhodou dvoulístých a jednolístých konstrukcí je úspora nákladů na výrobu chybějících listů oproti běžné trojlísté konstrukci. [14]

Motory se svislou osou rotace jsou v energetické praxi spíše výjimkou. Jediným příkladem, který se kdy dočkal komerčního nasazení je motor typu Darrieus. Hlavní výhodou je v tomto případě fakt, že motor není nutné orientovat pro různé směry větru a strojní zařízení elektrárny může být umístěno v úrovni terénu. [15] Motory mají obvykle 2 až 3 listy rotoru, dosahují účinnosti přibližně 38 %, s maximem až 48 % a náběhová rychlost se pohybuje v intervalu 5–8 m/s. Nevýhodou ovšem je umístění rotoru v malé výšce nad terénem, kde je rychlost větru nejnižší. [16]



Obrázek 3: Turbína typu Darrieus [17]

Větrné elektrárny se dále dělí na elektrárny se synchronním a asynchronním generátorem.

Větrné motory s asynchronním generátorem se vyznačují vyšší provozní spolehlivostí, nižší pořizovací cenou, jednoduchým rozběhem, připojením na síť a snadnou regulací výkonu. Používají se ve větrných elektrárnách středních a vysokých výkonů. V provedení s kotvou nakrátko je jejich nevýhodou malé rozpětí otáček. Tato nevýhoda může být potlačena použitím asynchronního generátoru v provedení s napájeným rotorem. V tomto provedení je možný provoz i v nízkých otáčkách, tedy při nižších rychlostech větru. [18]

Synchronní generátory jsou provozovány v kombinaci s usměrňovačem a střídačem, případně jsou provozovány do lokální stejnosměrné sítě, protože frekvence výstupního napětí generátoru je

synchronní s otáčkami turbíny. V provedení s rotorem s permanentními magnety se používají v malých větrných elektrárnách. Ve větrných elektrárnách velkých výkonů umožňuje synchronní generátor snížení hmotnosti, protože může být provozován bez převodovky napojený přímo na turbínu. [19]

2.2.3 Regulace větrných motorů

Větrné motory jsou konstruovány, aby dosahovaly maxima výkonu při rychlostech větru nižších než přibližně 15 m/s. Například turbína Enercon E115 EP-3 popisovaná dále v této práci dosahuje maxima výkonu již při rychlosti větru 12 m/s. Konstruovat turbínu na vyšší výkony není ekonomické, protože takové rychlosti větru netrvají během běžného roku dostatečně dlouhou dobu. Aby nedošlo k překročení maxima výkonu, a tedy k přílišnému mechanickému namáhání soustrojí, je třeba během vyšších rychlostí větru snížit účinnost přeměny energie proudu vzduchu na listech rotoru. [20]

Pro pochopení problematiky regulace je potřeba nejprve vysvětlit několik pojmů.

Angle of attack (úhel náběhu) – Úhel, který svírá tětíva listu rotoru s příchozím proudem vzduchu. Při větším úhlu náběhu je proud vzduchu nastavena větší plocha a síla působící na list rotoru je vyšší.

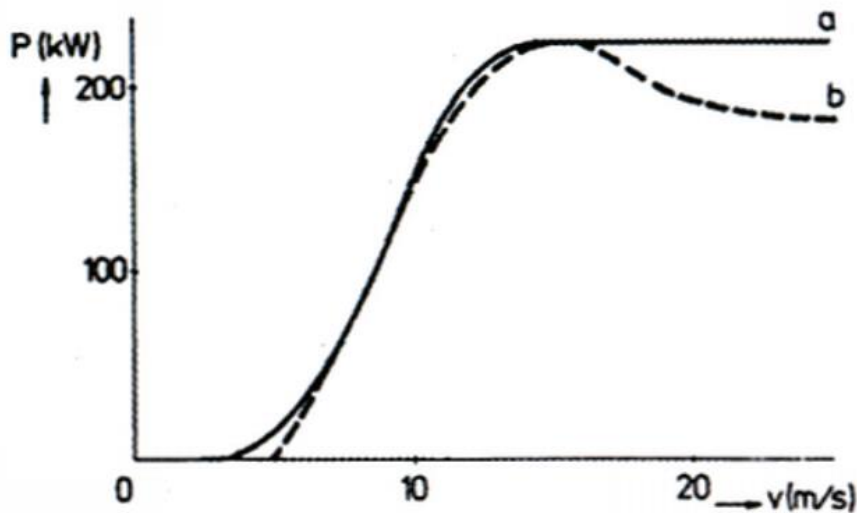
Pitch – Rotace listu rotoru kolem jeho podélné osy.

Yaw – Natáčení celého rotoru vůči směru větru. [21]

Regulace yaw se používá pouze u menších větrných elektráren. Podobně jako je nutné natáčet větrný motor přímo do směru větru, aby byl dosažen maximální účinnosti, a tedy plného dostupného výkonu, je možné výkon omezit snížením účinnosti při záměrném vychýlení větrného motoru ze směru větru. Vychýlením osy motoru do pravého úhlu vůči směru větru je dosaženo odstavení elektrárny. [22]

Regulace stall je pasivní metodou regulace větrného motoru. S rostoucí silou větru dochází k pružné deformaci tvaru listu rotoru a zvyšování úhlu náběhu na konci listu až do bodu, kdy laminární proudění přechází v turbulentní, dojde k odtržení proudu vzduchu od lopatky a k poklesu působící vztlačkové síly. Motor je tím uchráněn před nadměrným mechanickým namáháním, nicméně za cenu poklesu účinnosti a ztráty výkonu proti optimální rychlosti větru. [23]

Regulace pitch je aktivní metodou regulace větrného motoru spočívající v natáčení lopatek rotoru za účelem dosažení optimálního úhlu náběhu pro danou rychlost větru. Na rozdíl od regulace stall vyžaduje tato metoda komplikovanější konstrukci rotoru zahrnující krokové motory, které natáčejí lopatky a řídicí elektroniku která kontroluje úhel náběhu podle okamžitého výkonu stroje. Za cenu komplikovanějšího soustrojí, a tedy nižší provozní spolehlivosti je dosaženo optimální účinnosti a plného výkonu ve velkém rozsahu rychlosti větru. [24]



Obr. 2.18: Výkonová charakteristika regulace PITCH (a) a STALL (b) [9]

Graf 1: Výkonová charakteristika regulace pitch a stall [25]

Regulace pitch-stall a stall-pitch jsou kombinace metod stall a pitch. Zatímco regulace stall je výkonově neefektivní, regulace pitch je omezena rychlostí krokových motorů a není tedy ideální pro náhlé změny rychlosti větru. Obě metody využívají v nižších rychlostech (které jsou nedostatečné pro dosažení pružné deformace listu) regulace pitch. Metoda pitch-stall užívá od nízkých otáček regulaci pitch, pomocí které po překročení maxima výkonu snižuje účinnost až do bodu, kdy je v nejvyšších otáčkách zapojena regulace stall. Metoda stall-pitch v nízkých otáčkách rovněž užívá čistě regulaci pitch. Při vysokých rychlostech je pomocí regulace pitch zhoršena situace přetížení listů, čímž je vyvolána regulace metodou stall. [26]

Regulace active stall je aktivní metodou regulace. Během rozběhu a provozu při malých otáčkách působí totožně s metodou regulace pitch, nicméně při vysoké rychlosti rotoru aktivně naklopí lopatky v opačném směru oproti regulaci pitch, což vede ke zvýšení úhlu náběhu, odtržení proudu vzduchu od lopatky a poklesu účinnosti. Menší úhly naklápění lopatek oproti regulaci pitch umožňují rychlejší reakci na změny rychlosti větru. [27]

2.3 Rešerše bateriových úložišť

2.3.1 Parametry systémů akumulace energie

Akumulační systémy obecně lze popsat a rozdělit podle několika zásadních provozních vlastností. Pro účely práce se zabývám výhradně bateriovými úložišti, nicméně uvedení a pochopení těchto obecných parametrů je nutností pro kvalifikovaný návrh řešení. Těmito parametry jsou požadovaný výkon, akumulační kapacita, fáze přeměny při akumulaci, počet cyklů, forma ukládání energie, rychlosti a reakční rychlosti nabíjení a vybíjení.

Požadovaný výkon

Požadovaný výkon systému je dán rozdílem mezi aktuální spotřebou a aktuální výrobou energie. V tomto případě systém vytápění obce jiné zdroje energie nemá, je tedy nutné úložiště dimenzovat na plný dodávaný výkon v době ročního maxima. [28]

Akumulační kapacita

Jedná se o schopnost akumulátoru pojmout elektrickou energii, je vyjádřena v ampérhodinách jako uložený náboj, nebo ve watthodinách jako uložená energie. [29]

Počet cyklů

Za nabíjecí cyklus s běžně považuje vybití baterie do určité hloubky vybití (depth-of-discharge) a její opětovné nabití na plnou kapacitu. Hloubkou vybití se rozumí poměr mezi vypočítanou a celkovou dostupnou energií vyjádřený v procentech. Např. hloubka vybití 80 % znamená, že v baterii je nadále uloženo 20 % celkové energie. V tuto chvíli neexistuje obecně platná definice nabíjecího cyklu, která by stanovovala standardní hloubku vybití, proto je třeba vždy zkontrolovat přesnou definici nabíjecího cyklu používanou výrobcem. Obecně platí, že při vyšší hloubce vybití dosahuje baterie nižšího počtu cyklů, než dojde k významnému zhoršení parametrů. [30]

Rychlost a reakční rychlost nabíjení a vybíjení

Rychlostí nabíjení rozumíme schopnost baterie dosáhnout plného nabití v určitém čase. Rychlostí vybíjení rozumíme schopnost baterie dosáhnout plného vybití v určitém čase. Reakční rychlostí rozumíme rychlost změny mezi nabíjením a vybíjením baterie v reakci na aktuální požadavky. [31]

Fáze přeměny při akumulaci

Podle fáze přeměny dělíme systémy na homogenní, ve kterých je podoba ukládání a odběr energie proveden stejným principem přeměny (např. kondenzátory) a heterogenní, ve kterých je podoba ukládání a odběru energie odlišná. [32]

Forma ukládání energie

Podle formy ukládání energie dělíme systémy akumulace na mechanické, které užívají například kinetickou energii setrvačnicku, nebo potenciální energii, dále na systémy využívající elektrochemické přeměny jako jsou akumulátory a palivové články. [33]

2.3.2 Dostupné systémy bateriových úložišť

Vzhledem k tomu, že se jedná o praktickou, ne experimentální aplikaci, která musí být v první řadě ekonomicky únosná a prakticky spolehlivá, je nutné použít technologie, které jsou cenově dostupné a v době tvorby práce široce uplatňované. Nebudu se tedy v rešeršní části zabývat méně obvyklými nebo novými a nezavedenými technologiemi.

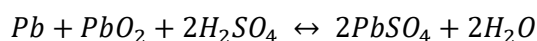
2.3.2.1 Základní teorie baterií

Každá baterie se skládá ze dvou typů elektrod, z pozitivní katody a negativní anody, a z elektrolytu mezi elektrodami, který slouží v reakci jako katalyzátor. Elektrody jsou od sebe elektricky izolovány separátorem, který neumožňuje tok elektronů mezi elektrodami, ale umožňuje pohyb iontů. Pohyb elektronů je možný pouze připojeným elektrickým obvodem přes zapojený spotřebič. Při nabíjení se hromadí kladné ionty na přechodu mezi katodou a elektrolytem. Při vybíjení anoda uvolňuje elektrony, které prochází ke katodě skrze připojený obvod. Toto je v rozporu s konvencí v elektrotechnice, dle které se směr toku proudu uvažuje opačný, tedy od kladného pólu k zápornému. [34]

2.3.2.2 Olověné baterie

Základní vlastnosti

Olověný akumulátor používá mřížkové olověné elektrody vyplněné pastou oxidu olovičitého na kladné elektrodě a houbovitým olovem na elektrodě záporné. Jako elektrolyt slouží roztok kyseliny sírové a vody. Při vybíjení stoupá podíl vody v roztoku na úkor kyseliny sírové, při nabíjení podíl vody v roztoku klesá. Souhrnně lze reakce na elektrodách vyjádřit tímto vzorcem. Reakce probíhá zprava doleva při nabíjení a zleva doprava při vybíjení. [35]



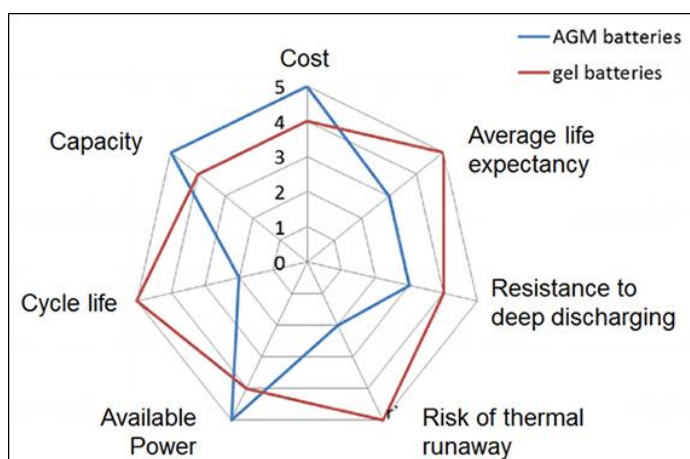
Olověné akumulátory jsou nejstarším komerčně dostupným typem dobíjecí baterie. Navzdory toxicitě a environmentální nebezpečnosti olova si zachovávají svou popularitu a významný podíl na globálním trhu díky své spolehlivosti a nízké ceně. Olověné baterie dobře fungují ve velkém rozsahu teplot, jsou schopné dodat vysoký vybíjecí proud a vyznačují se nízkou mírou samovybíjení. K jejich nevýhodám patří omezená schopnost rychlého dobíjení, kdy dobití baterie na plnou kapacitu trvá 14–16 hodin a nutnost skladování v nabitém stavu, dále pak nízká měrná kapacita (vztažená hmotnosti) a omezená životnost, pokud jde o počet nabíjecích cyklů. Moderní typy jsou oproti původní olověné baterii bezúdržbové (v anglické terminologii se nazývají *sealed*, tedy uzavřené nebo zapečetěné, protože nevyžadují dolévání vody). Jejich nejrozšířenějšími typy jsou baterie typu AGM a gelové baterie. [36]

Baterie AGM

Baterie AGM (absorbent glass mat) se vyznačují tím, že je v nich kyselina sírová nasáknutá do rohože z jemné skelné vaty, což zamezuje vytečení baterie. Jsou dražší než tradiční olověné akumulátory, ale přinášejí delší životnost v počtu cyklů, větší bezpečnou hloubku vybití (až 80 procent oproti 50 procentům pro stejný počet cyklů) a je možné je dobít až pětikrát rychleji. Fungují dobře za nízkých teplot, ale jsou citlivé na provoz ve vysokých teplotách. [37]

Gelové baterie

V gelové baterii je kyselina sírová smíchaná se silikagelem, čímž přechází do konzistence polotuhé pasty. Výhodou oproti bateriím typu AGM je delší životnost. Zatímco baterie AGM ztrácí své původní parametry průběžně při provozu, gelová baterie si po delší dobu zachovává původní hodnoty a teprve ke konci životnosti nastane prudké zhoršení. Gelová baterie lépe funguje při vysokých teplotách a má delší životnost (v počtu cyklů). [38] Základní charakteristiky gelových baterií a baterií AGM jsou porovnány na níže uvedeném grafu.



Graf 2. [39]

2.3.2.3 Lithiové baterie

Lithium-iontové baterie

Lithium-iontová baterie se skládá z katody vyrobené z oxidu kovu a lithia (např. lithium-kobalt oxid LiCoO_2) a anody vyrobené z porézního uhlíku a elektrolytu, kterým je nejčastěji lithium hexafluorofosfát rozpuštěný v nepolárním organickém rozpouštědle. Při nabíjení migrují elektrolytem ionty lithia z katody na anodu, při vybíjení je pohyb iontů opačný. Ionty lithia s uhlíkovou anodou chemicky nereagují, pouze se vmísí do mřížky materiálu. Díky tomu nedochází k narušování materiálu anody a prodlužuje se životnost baterie. Obecně se lithium iontové baterie vyznačují vysokou energetickou hustotou a schopností dodat vysoký vybíjecí proud, dále vysokou životností z hlediska počtu cyklů a schopností rychlého nabíjení. Oproti olověným bateriím vyžadují ochranný obvod. [40] [41] Souhrn klíčových parametrů nejčastějších typů lithium-iontové baterie v porovnání s olověnou baterií je uveden v tabulce níže.

Parametr	Olověná	Lithium iontová		
		kobaltová	manganová	fosfátová
Měrná energie (Wh/kg)	30-50	150-250	100-150	90-120
Vnitřní odpor	velmi malý	střední	nízký	velmi nízký
Počet cyklů (hloubka vybití 80%)	200-300	500-1000	500-1000	1000-2000
Doba nabíjení	8-16 h	2-4 h	1-2 h	1-2 h
Odolnost vůči přebití	vysoká	nízká		
Samovybití za měsíc (pokojová teplota)	5%	<5% (ochranný obvod spotřebuje 3%)		
Jmenovité napětí článku	2 V	3.6 V		
Maximální napětí článku	2.4 V (udržovací napětí 2.25 V)	4.2 V (některé i víc)		
Minimální napětí článku	1.75 V	2.5-3 V		
Špičkový proud (v násobcích kapacity)	5C	2C	>30C	>30C
Optimální proud (v násobcích kapacity)	0.2C	<1C	<10C	<10C
Teplota pro nabíjení	-20 - 50°C	0 - 45°C		
Teplota pro vybíjení	-20 - 50°C	-20 - 60°C		
Interval údržby	3-6 měsíců	bezúdržbové		
Bezpečnostní požadavky	Teplotně stabilní	Nutný ochranný obvod		
V použití od roku	pozdní 19. století	1991	1996	1999
Toxicita	velmi vysoká	nízká		
Faradayova účinnost	~90%	99%		
Cena	nízká	vysoká		

Tab. 1 [42]

Lithium polymerové baterie

Technologie Li-pol baterie nepředstavuje chemicky odlišné řešení oproti výše zmíněným typům lithium-iontových baterií. Spočívá v nahrazení kapalného elektrolytu polymerním gelovitým elektrolytem. Materiály elektrod jsou shodné s technologií lithium-iontové baterie. Díky tomu, že elektrolyt nahrazuje standardní separátor, je možné vyrobit baterii bez pevného obalu, který by vrstvy stlačoval dohromady. To umožňuje výrobu složitějších tvarů baterie pro umístění do spotřební elektroniky. Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky jsou shodné s příslušným typem lithium-iontové baterie, energetická hustota může být mírně vyšší. [43]

Baterie second-life

Možným zdrojem lithiových baterií pro použití do pevné instalace jsou již použité baterie původně určené pro elektromobily. Lithiové baterie při používání vlivem proběhlých nabíjecích cyklů ztrácejí svou kapacitu, čímž se omezuje celkový dojezd, a tedy i užitečnost vozidla pro uživatele. Nicméně pevná instalace není omezena prostorem a hmotností uložení zdaleka tolik jako automobil a sníženou kapacitu baterií (a měrnou kapacitu vztahenou na kilogram) je možné kompenzovat prostým zakoupením většího množství paralelně zapojených jednotek. Za předpokladu, že kapacita baterie bude v době jejího pořízení dosahovat 70–80 % původní hodnoty [44], nepředstavovala by nutnost použití většího počtu jednotek přílišné zvýšení prostorové náročnosti. Považuji tedy variantu použití second-life baterií za zajímavou pro další zkoumání ve fázi sestavení variant, přestože je nutné rovněž vzít v úvahu kratší očekávanou dobu životnosti a možnou rychlejší degradaci vlivem počtu prodělaných nabíjecích cyklů.

2.3.2.4 Superkondenzátory

Superkondenzátor se skládá z páru elektrod oddělených elektrolytem, a ionty propouštějícím separátorem, který brání dotyku elektrod a následnému zkratu. Vzhledem k tomu, že superkondenzátory fungují na elektrostatickém principu a nejsou omezeny rychlostí chemické reakce jako baterie, dosahují řádově vyšších rychlostí nabíjení a vybíjení. [45]

V superkondenzátorech na rozdíl od baterií nedochází k chemickému opotřebení elektrod, dosahují tedy téměř neomezené životnosti (uvádí se milion cyklů). Díky minimálnímu vnitřnímu odporu jsou schopné dodat velmi vysoké vybíjecí proudy. Při dodržení stanoveného napětí je nemožné superkondenzátor „přebít“, tedy není nutné provádět detekci plného nabití. Nicméně je nutné regulovat velikost nabíjecího proudu, protože prázdný kondenzátor zapojený do obvodu se chová jako zkrat. Mezi nevýhody patří nízká energetická hustota a vyšší samovybíjení oproti většině baterií. Zásadní nevýhodou je jeho vybíjecí charakteristika. Napětí na kondenzátoru klesá úměrně s úrovní jeho nabití, tedy při poklesu po minimální provozní napětí zátěže zůstane energie v kondenzátoru nevyužita. [46] Rovněž maximální dodávaný výkon klesá lineárně s úrovní nabití kondenzátoru, což je v kontrastu s chováním elektrochemické baterie, u které je křivka maximálního výkonu v závislosti na úrovni nabití exponenciální a baterie drží téměř plný maximální výkon až do náhlého poklesu těsně před vybitím, jak je znázorněno na níže uvedených grafech. [47]

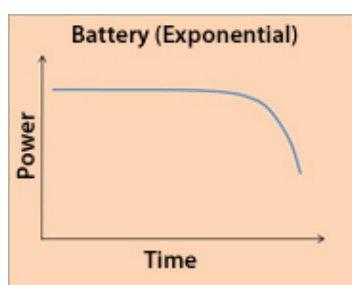


Figure 1: Discharge curve of Battery. Exponential discharge provides steady power to the end.

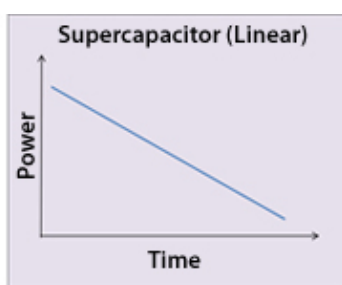


Figure 2: Discharge curve of supercapacitor. Linear discharge prevents the full use of energy.

Graf 3: Charakteristiky baterie a superkondenzátoru

Superkondenzátor nicméně dosahuje značně vyššího měrného výkonu (na kilogram). Číselné shrnutí základních dat o superkondenzátorech ve srovnání s lithiovými bateriemi je v tabulce níže.

Vlastnost	Superkondenzátor	Lithium-iontová baterie
Doba dobíjení	1-10 vteřin	10 - 60 minut
Počet cyklů	milion, nebo 30 000 hod	500 a víc
Napětí článku	2.3 - 2.75 V	3.6 (jmenovité)
Měrná energie (Wh/kg)	5	120 - 240
Měrný výkon (W/kg)	až 10 000	1000 - 3000
Cena za kWh	\$ 10 000	\$250 - \$1000
Životnost (v průmyslu)	10-15 let	5 až 10 let
Teplota pro nabíjení	-40 - 65°C	0 - 45°C
Teplota pro vybíjení	-40 - 65°C	-20 - 60°C

Tab 2 [48]: Shrnutí vlastnosti supekondenzátoru a lithiových baterií.

Tím se také dostáváme k největší nevýhodě superkondenzátoru pro účely této práce, tedy k vysoké, desetkrát až čtyřicetkrát vyšší ceně za kWh kapacity.

2.4 Rešerše dotačních titulů

2.4.1 Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost – OP TAK

Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost navazuje na Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost. Financován bude z Evropského fondu pro regionální rozvoj a předpokládaná výše alokace je 82 miliard korun. Jedním z jeho pěti cílů je *Zelenější, bezuhlíkové Česko*, pod nějž spadají podpory investic v oboru úspor energií a obnovitelných zdrojů. [49] Nicméně je velmi nepravděpodobné, že by z něj bylo možné čerpat financování projektu, protože cílovou skupinou Operačního programu jsou podnikatelské subjekty a výzkumné organizace. [50] Není tedy přínosné program nadále rozebírat a jeho existence je zmíněna pouze pro úplnost.

2.4.2 Modernizační Fond

Modernizační Fond je program, který má finančně podporovat investice deseti nízkopříjmových členských států Evropské Unie do modernizace energetického sektoru a zlepšení energetické účinnosti. Mezi tyto státy patří i Česká republika. Fond bude financován prostředky získanými z prodeje 2 % vydaných emisních povolenek systému EU ETS mezi lety 2021–2030. Cena emisních povolenek není pevně stanovená a podléhá tržním vlivům, nicméně objem získaných prostředků se odhaduje na 14 miliard Euro, z čehož bude na Českou republiku připadat 15,59 %, není tedy třeba se v časovém horizontu realizace projektu obávat vyčerpání programu.

Cíle Modernizačního fondu jsou stanovené takto:

- výroba energie z obnovitelných zdrojů
- energetická účinnost
- akumulace energie
- modernizace energetických sítí
- transformace uhelných regionů

Výstavba větrné elektrárny společně s akumulačním prvkem tedy splňuje současně dvě z pěti možných kritérií pro podporu investice, a tedy má smysl podrobněji zkoumat možnosti financování z Modernizačního Fondu. [51]

Z devíti programů podpory, do nichž se Modernizační Fond dělí, připadají v úvahu program *Nové obnovitelné zdroje v energetice* označený RES+ a program *Komunitní energetika* označený KOMUENERG.

2.4.2.1 Program Komuenerg

Program Komuenerg by pravděpodobně umožňoval financování projektu v rámci podporované oblasti *Výstavba komunitních elektráren, využívajících nepalivové OZE, s vlastní či pronajatou distribuční sítí vč. možnosti akumulace energie, inteligentních síťových a měřicích prvků, a optimalizace spotřeby energie*, nicméně v tuto chvíli nejsou k programu zveřejněny podklady popisující jeho budoucí parametry a ani nelze předpokládat jejich brzké zveřejnění. Zásadní nevýhodou by navíc bylo zaměření programu na podporu tzv. otevřených energetických společenství, které by museli společně vytvořit odběratelé v obci a následně se o dotaci společně ucházet. [52]

2.4.2.2 Program RES+

2.4.2.2.1 Úvod

Program RES+ umožňuje podporu *Instalace nových nebo modernizaci stávajících OZE*, jmenovitě i větrných elektráren a to včetně systémů akumulace, pokud je tento systém součástí projektu této větrné elektrárny. Podpora akumulace tepelné energie by byla přípustná pouze v kombinaci s geotermálním zdrojem. Oprávněným žadatelem o dotaci může být jakýkoli subjekt, který disponuje (nebo bude disponovat) licenci pro podnikání v energetických odvětvích. [53]

2.4.2.2.2 Podpora

Poskytnutá podpora bude vyplácena formou jednorázově vyplacené dotace po dokončení projektu. Pro účely stanovení výše podpory je obec považována za velký podnik nacházející se v ostatních regionech (tedy nenacházející se v Praze) a tedy je možné čerpat podporu o procentní intenzitě 60 % způsobilých výdajů po odečtení alternativní investice (myšleno výdaje na realizaci scénáře bez podpory, kdy se subjekt chová tržně výroby potřebného množství energie dosáhne nejlevnějším způsobem). Pro projekty s instalovaným výkonem v rozsahu 1 až 10 MWe se alternativní investice vylučuje pomocí nákladů na pořízení dieselového zdroje odpovídající kapacity výroby. [54]

Pravděpodobně bude také platit podmínka, že celková výše dotace nesmí překročit 50 % celkových výdajů projektu. Finální výše podpory tedy bude vypočtena procentní sazbou jako 60 % výdajů na výstavbu obnovitelného zdroje energie po odečtení alternativní investice, a to do maximální výše 50 % všech výdajů na výstavbu (tedy bez odečtení alternativní investice). [55]

U realizovaných projektů jsou sledovány tzv. vykazované indikátory, kterými se měří (míra) dosažení účelu podpory. Závaznými indikátory jsou *Snížení spotřeby primární neobnovitelné energie, Snížení emisí CO₂, Nový instalovaný výkon OZE, Výroba energie z OZE a Nová kapacita akumulace elektrické energie z OZE*. Je samozřejmé, že nahrazením lokálních topenišť na pevná paliva obnovitelným

bezemisním zdrojem dojde jak ke snížení spotřeby primární neobnovitelné energie, tak ke snížení emisí CO₂. Nově instalovaná větrná elektrárna rovněž zcela zjevně představuje nový instalovaný výkon OZE, a i výroba energie z OZE a vznik nové kapacity akumulace energie z této elektrárny jsou pevnými součástmi projektu. Při skutečné žádosti o dotaci by bylo nutné vyčíslit tyto hodnoty a následně jejich naplnění doložit. [56]

2.4.2.2.3 Technologické požadavky programu

Pro čerpání podpory na větrnou elektrárnu samotnou, je nutné, aby splňovala minimální výtěžnost dne posudku větrných poměrů lokality a aby splňovala požadavky posouzení vlivu na životní prostředí EIA. Přidružený systém akumulace elektřiny nesmí používat akumulátory na bázi olova, nebo akumulátory typů NiCd a NiMH. [57] Poskytování podpory na systémy akumulace elektrické energie se předpokládá v rozsahu využitelné kapacity akumulace od 20 % teoretické maximální hodinové výroby do 100 % teoretické maximální hodinové výroby. [58]

Za nezpůsobilý výdaj pro účely dotace se považuje mimo jiné nákup použitého vybavení. V tuto chvíli není jisté, zda se toto vztahuje i na nákup repasovaných baterií second-life.

Doba realizace projektu nesmí překročit 5 let od okamžiku schválení projektu. [59]

2.5 Energetické potřeby obce

2.5.1 Teplo

Spotřeba tepla obce Zbilidy je pro účely této práce považována za součást zadání. Nebudu ji tedy od základu sám stanovovat, ani se hlouběji zabývat způsobem stanovení, a vyjdu z diplomové práce „Varianty ekologického zásobování obce tepelnou energií“ napsané Bc. Petrem Kováčem v roce 2005 [60], která byla vypracována rovněž na příkladu obce Zbilidy.

Autor citované práce stanovil spotřebu tepla následovně:

- Spotřeba na vytápění ve výši 78,34 GJ/rok na jeden průměrný obytný dům, pro tehdejších 77 domácností
- Spotřeba na vytápění 899,14 GJ/rok souhrnně pro nebytové prostory
- Spotřeba na ohřev teplé vody 1 020 GJ/rok, spočteno pro tehdejší počet obyvatel (174)

Celkovou spotřebu bytových prostor následně autor citované práce určil na 6 032,1 GJ/rok. Vzhledem k tomu, že nově postavené domy byly postavené podle novější, přísnější legislativy a měly by tedy vykazovat nižší měrnou potřebu tepla na vytápění, bude nutné odhad jejich spotřeby určit odděleně. Autor citované práce postupoval pomocí výpočtu dle měrné potřeby tepla na metr krychlový vytápěného prostoru. Protože se ale způsob, jakým se spotřeba tepla stanovuje od té doby změnil,

nemohu použít stejný postup. Pokud bych zpracovával projekt určený přímo pro realizaci záměru, bylo by nutné počítat spotřebu každé napojené budovy jednotlivě. To by ovšem zabralo mnoho stran a pro účely akademické práce, která se tímto primárně nezabývá, to není nutné.

Nové rodinné domy postavené mezi lety 2005 a 2020 tedy namodeluji náhradním domem, novostavbou postavenou podle legislativních požadavků v roce 2012, tedy ve středu zkoumané doby. Dohledal jsem odborný článek zabývající se touto problematikou právě v tomto roce, který uvádí jako obecný objekt běžné výstavby rodinný dům o podlahové ploše 150 m² a měrnou potřebu tepla na vytápění 92 kWh/m² za rok, což je 0,3312 GJ/m². [61] Podle veřejně dostupných mapových podkladů půdorys novostaveb v obci přibližně odpovídá takovému podlahové ploše.

Spotřebu tepla na vytápění během roku tedy stanovím tímto výpočtem:

$$q_{byt} = 6032,1 + 16 * 150 * 0,3312 = 6826,98 \frac{GJ}{rok}$$

Nebytové prostory v obci zůstaly od doby zpracování citované práce ve stejném stavu. Nicméně pro účely projektu počítám s využitím dotace a dotační právo nedovoluje v tomto případě poskytování elektřiny podnikům za cenu zvýhodněnou oproti ceně tržní (jedná se o princip takzvaného přenosu výhody z veřejné podpory). Započítám tedy do spotřeby pouze očekávaný odběr Obecního domu.

$$q_{nebyt} = 428,41 \frac{GJ}{rok}$$

Počet obyvatel od doby zpracování citované práce narostl, proto stanovenou spotřebu tepla na ohřev vody upravím příslušným koeficientem.

$$q_{voda} = q'_{voda} * \frac{\text{aktuální počet obyvatel}}{\text{původní počet obyvatel}} = 1\,020 * \frac{211}{174} = 1\,236,87 \frac{GJ}{rok}$$

V obci se rovněž nachází dva bytové domy po čtyřech bytech. Mimo toho že jsou vytápěny uhlím nemám o jejich spotřebě tepla podrobnější informace. Vyjdu tedy ze statistických dat, podle nichž je v kraji Vysočina průměrná spotřeba hnědého uhlí v domácnostech, které jej užívají 3500 kilogramů ročně [62]. Průměrnou výhřevnost stanovím jako výhřevnost na trhu běžného uhlí *Bílinská kostka* na 17,6 MJ/kg. [63]

$$q_{bytovky} = 8 * 3\,500 * 17,6 = 492,8 \frac{GJ}{rok}$$

Sečtením těchto hodnot získám výpočtovou spotřebu tepla obce.

$$\begin{aligned} q_{rok} &= q_{byt} + q_{nebyt} + q_{voda} + q_{bytovky} = 6\,826,98 + 428,41 + 1\,236,87 + 492,8 \\ &= 8\,985,06 \frac{GJ}{rok} \approx 9 \frac{TJ}{rok} \end{aligned}$$

Pro srovnání, souhrnná hodnota v citované práci byla jejím autorem stanovena na 7 951 GJ/rok pro 77 domácností a 174 obyvatel, oproti současným 101 domácnostem a 211 obyvatelům.

2.5.2 Elektřina

Při stanovení předpokládané spotřeby elektřiny v obci vycházím ze statistických dat uveřejněných ve zprávě „Spotřeba paliv a energií v domácnostech“ vypracované Českým statistickým úřadem v roce 2017. Zpráva je dostupná na této webové adrese <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energi-v-domacnostech>.

Výchozím bodem je údaj o roční spotřebě elektřiny domácností bez ohledu na účel použití elektřiny. Tento údaj tedy obsahuje i elektřinu spotřebovanou na vytápění a ohřev teplé vody, o kterou jej budu muset očistit. Údaje jsou uvedeny pro jednotlivé kraje, a to jak v hodnotách vztažených na průměrnou domácnost (byt), tak v hodnotách na osobu. Protože nepředstavují výsledné hodnoty pro další výpočet, označím je proměnnou s čarou. [64]

$$e'_{byt} = 3\,815 \text{ kWh/rok}$$

$$e'_{osoba} = 1\,516 \text{ kWh/rok}$$

Protože zpráva neuvádí rozdělení spotřeby podle účelu užití pro jednotlivé kraje, použiji pro očištění hodnot o elektřinu spotřebovanou na vytápění a ohřev vody údaje o rozdělení konečné spotřeby pro celou Českou republiku. Zpráva uvádí, že 14,3 % elektřiny v domácnostech je spotřebováno na vytápění a 20,4 % je spotřebováno na ohřev vody. [65] Pro ostatní účely použití (vaření, osvětlení a spotřebiče, chlazení, ostatní užití) tedy zbývá 65,3 % spotřebované elektřiny. Zavedu tedy koeficient využití 0,653 a vynásobím jím hodnoty e'_{byt} a e'_{osoba} , čímž získám očištěné hodnoty.

$$e_{byt} = 2\,491 \text{ kWh/rok}$$

$$e_{osoba} = 990 \text{ kWh/rok}$$

Pro získání odhadů celkové spotřeby elektřiny vynásobím získané hodnoty počtem domácností v obci, respektive počtem obyvatel.

$$E_{byty} = e_{byt} * \text{počet domácností} = 2\,491 * 101 = 251\,591 \text{ kWh/rok}$$

$$E_{obyvatelé} = e_{osoba} * \text{počet obyvatel} = 990 * 211 = 208\,890 \text{ kWh/rok}$$

Odhady získané přepočtem na počet domácností a počet obyvatel se od sebe liší přibližně o 20 %, což považuji za přijatelné. Odhad spotřeby elektřiny domácnostmi v obci tedy stanovím aritmetickým průměrem těchto hodnot na přibližně 230 MWh ročně.

Dalším zdrojem spotřeby v obci, který by bylo možné napájet energií z větrné elektrárny je veřejné osvětlení. O jeho spotřebě nemám podrobnější informace, vyjdu tedy z počtu lamp v obci a průměrných hodnot spotřeby. Pomocí mapových podkladů a panoramatického pohledu na serveru

mapy.cz jsem v obci napočítal 33 lamp veřejného osvětlení. Průměrný příkon lampy veřejného osvětlení v České republice je 120 W a průměrná roční doba provozu je 4179,5 hodin. [66]

$$E_{\text{osvětlení}} = \text{průměrný příkon} * \text{počet lamp} * \text{doba provozu} = 120 * 33 * 4\,179,5 \\ = 16\,551 \text{ kWh/rok}$$

Spotřebu veřejného osvětlení tedy stanovuji na 17 MWh ročně.

Celkovou spotřebu elektrické energie v objektech způsobilých k využívání energie z větrné elektrárny tedy stanovuji na 247 MWh.

2.5.3 Odhady průběhů roční spotřeby

Pro účely následného dimenzování systému akumulace je nutné provést odhad průběhu spotřeby tepla během roku a také odhad vytápěcích návyků obyvatel během běžného dne.

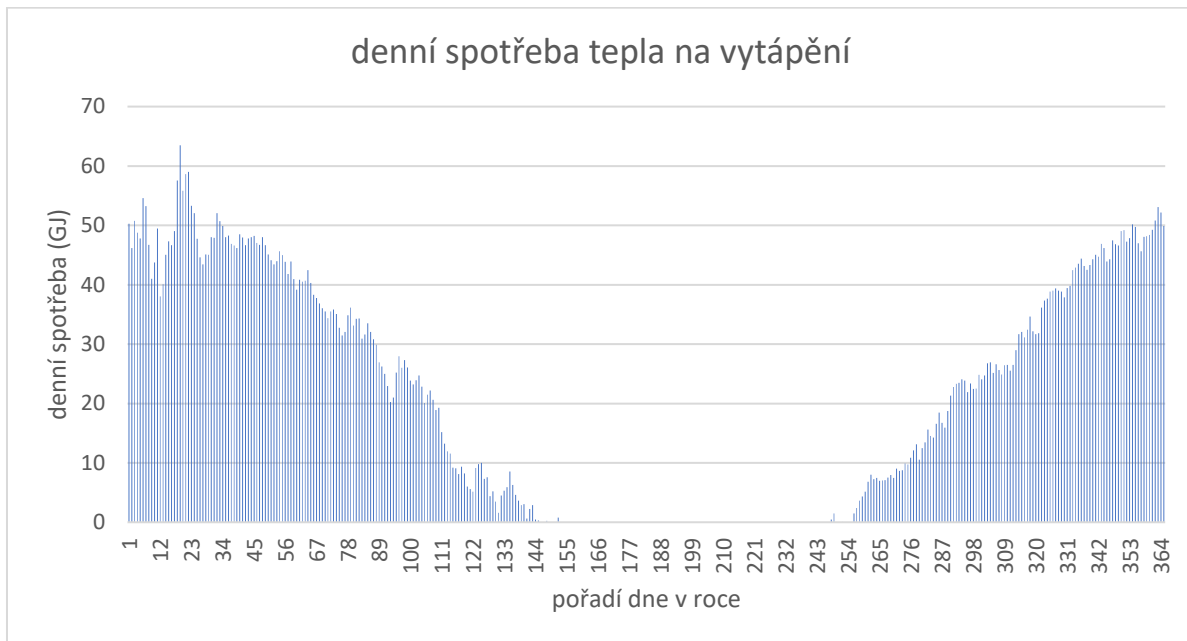
Pro provedení odhadu spotřeby tepla během běžného roku jsem se rozhodl vyjít z historických meteorologických a klimatických dat ze sítě stanic RBCN zveřejňovaných Českým hydrometeorologickým ústavem. Použil jsem data o denních průměrných teplotách ze stanice Příbyslav, která se nachází 29 km severovýchodně od obce Zbilidy. Stanice se nachází v nadmořské výšce o 100 metrů nižší než obec Zbilidy, tedy jsem ve výpočtu data o teplotách posunul o konstantu 0,65 °C dolů, abych respektoval vertikální teplotní gradient České republiky. [67] Data jsou dostupná z webových stránek CHMI. [68]

Abych určil průběh teplot během standardního roku, vytvořil jsem z dostupných dat o denních průměrných teplotách průměrné hodnoty pro příslušný den v každém roce za 30 let od roku 1990 do roku 2019 včetně. Protože se při stanovení počtu tzv. topných dnů považuje za hraniční teplotu pro zahájení či ukončení vytápění právě průměrná venkovní teplota 13 °C nad nulou [69], zvolil jsem i já tuto teplotu jako hranici mezi topným dnem a dnem bez vytápění. Abych ve výpočtu zohlednil rozdíly v intenzitě vytápění v závislosti na venkovní teplotě, převedl jsem následně hodnoty průměrných denních venkovních teplot ve standardním roce na rozdíl mezi touto teplotou a teplotou 13 °C pro topné dny a na nulu pro dny bez vytápění. Tím jsem dosáhl jak stanovení přibližné délky otopného období, tak zjištění očekávaného průběhu intenzity vytápění ve standardním roce.

Pro stanovení ročního maxima jsem následně hodnoty teplotních rozdílů oproti 13 °C převedl na relativní hodnoty oproti maximu těchto hodnot a stanovil očekávané denní potřeby tepla na vytápění pomocí tohoto vzorce:

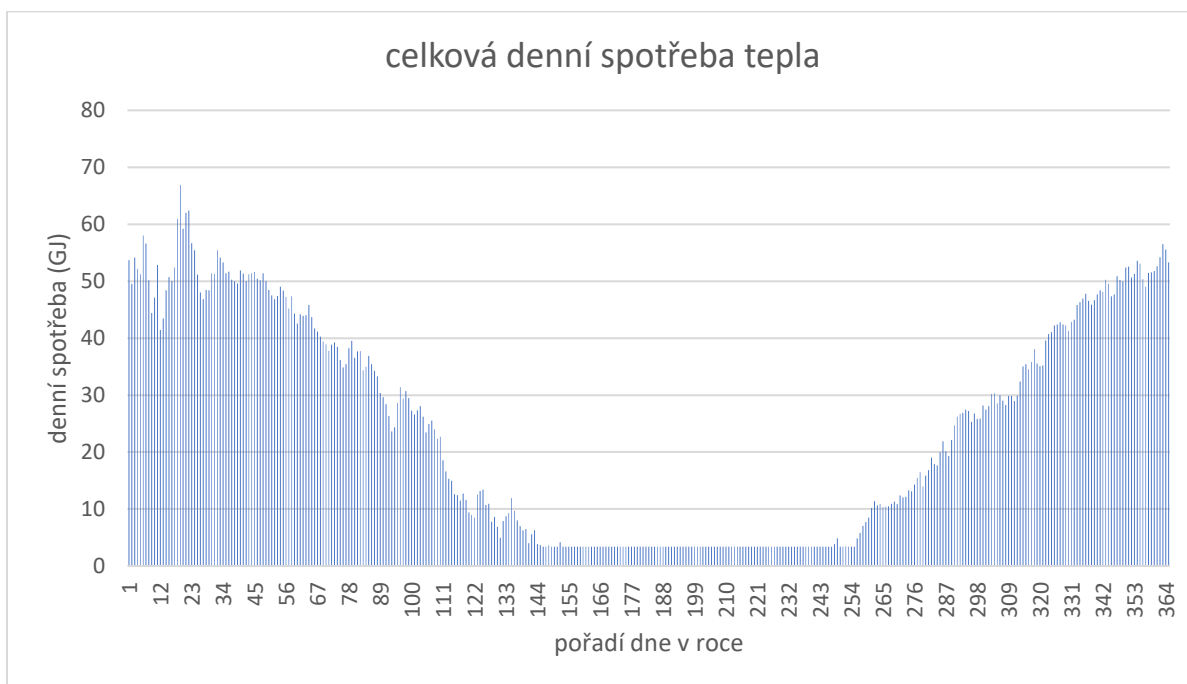
$$\text{Denní spotřeba tepla} = \frac{\text{relativní hodnota spotřeby}}{\text{suma relativních hodnot}} * \text{celková roční spotřeba}$$

Z výstupních dat souboru jsem stanovil očekávané roční maximum spotřeby ve standardním roce na 63,5 GJ a také průběh denní spotřeby tepla znázorněný v následujícím grafu.



Graf 4: Průběh spotřeby tepla na vytápění během roku

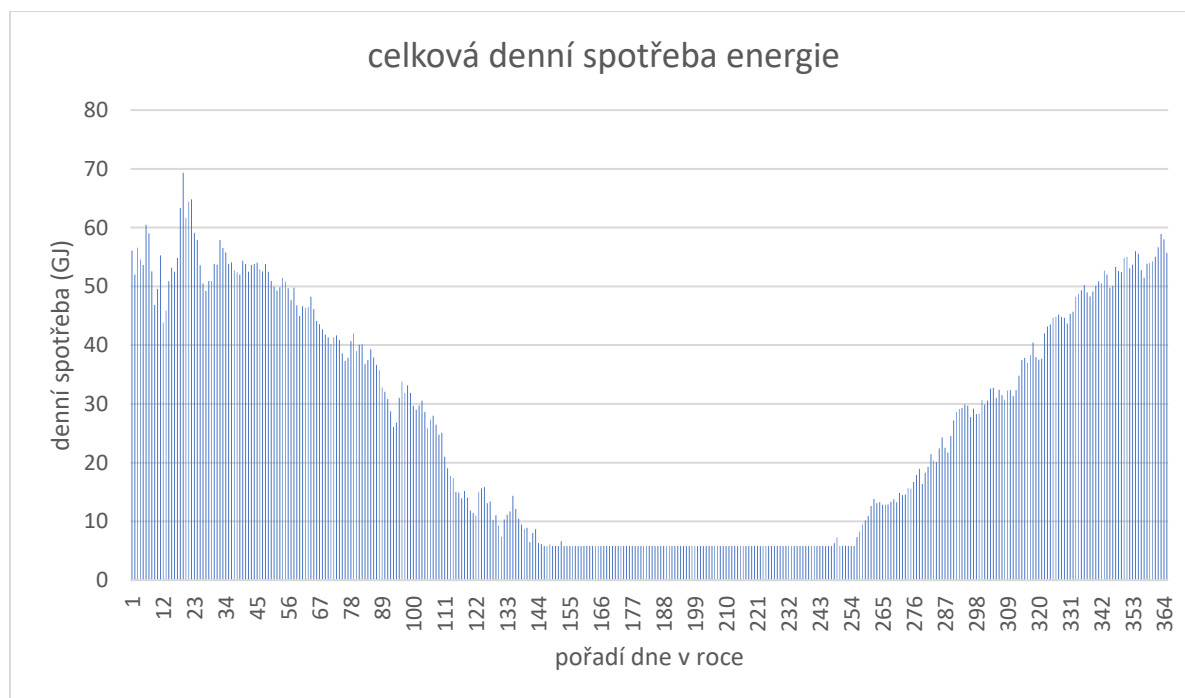
Ke spotřebě tepla na vytápění je rovněž nutné přičíst spotřebu tepla na ohřev teplé vody. Tuto spotřebu uvažuji konstantní během roku. Přičtu tedy ke všem hodnotám z předchozího kroku konstantu ve výši $q_{\text{voda}}/365$.



Graf 5: Průběh celkové očekávané spotřeby tepla během roku.

Maximum průběhu, a tedy i maximum, na které bude nutné dimenzovat se mírně zvýšilo na 67 GJ a zmizelo období nulové spotřeby v letních měsících.

Posledním krokem je zahrnutí spotřeby elektřiny v domácnostech pro jiné účely. Tu jsem již v bodě 2.4.2. stanovil na 230 MWh ročně a spotřebu elektřiny na veřejné osvětlení, kterou jsem stanovil na 17 MWh ročně. Budu předpokládat rovnoměrné rozložení spotřeby během roku, tedy se průběh spotřeby energie opět pouze zvýší o konstantu.



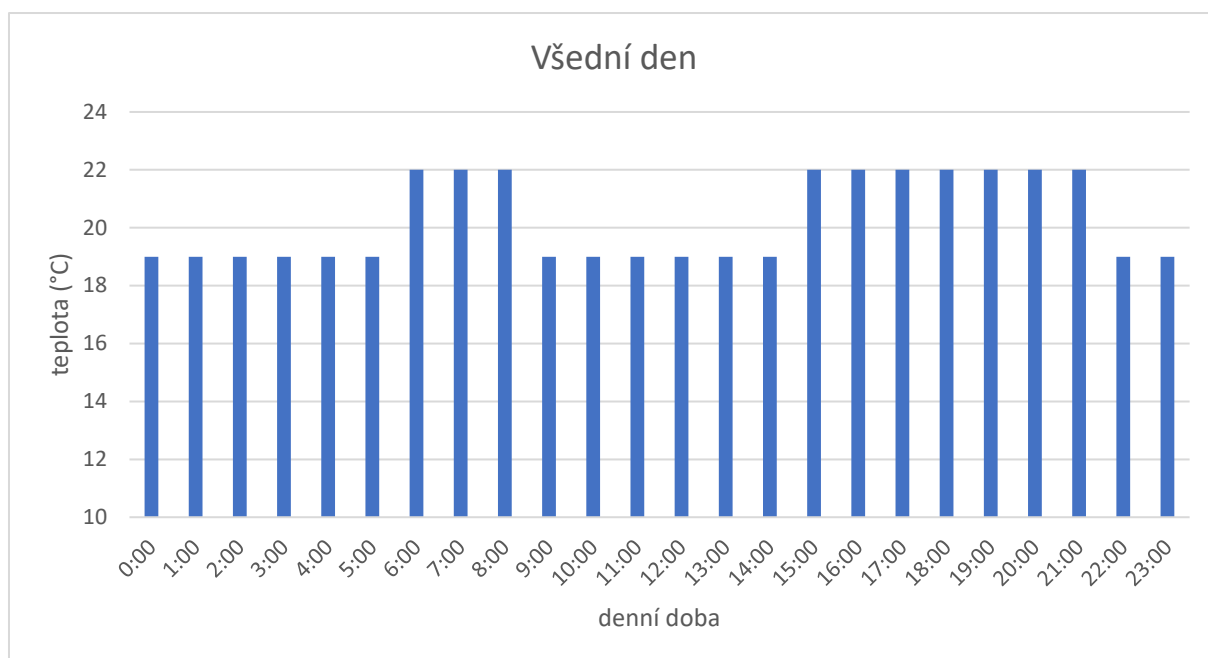
Graf 6: Průběh celkové očekávané spotřeby energie v domácnostech během roku.

Denní maximum se tímto navýšilo na 69 GJ.

Veškeré výpočty provedené v tomto bodě jsou k dispozici v příloženém souboru programu MS Excel.

Dále je nutné pro pozdější dimenzování maximálního okamžitého výkonu systému vzít v úvahu průběh využívání tepla během dne. Budu tedy předpokládat, že obyvatelé budou vytápět na vyšší teplotu v době, kdy se v domě nacházejí a že v době nepřítomnosti a v době spánku budou vytápět na teplotu nižší, ale nebudou vytápění zcela odpojovat, aby předešli vysokým výkyvům teplot v interiéru a prodlevám při zatápění.

Během všedního dne uvažuji vyšší teplotu 22 °C od šesté do osmé hodiny ráno a od třetí hodiny odpolední do deváté hodiny večerní. Po zbytek dne uvažuji úspornější variantu v podobě vytápění na 19 °C.



Graf 7: Teplota interiéru během všedního dne

Během víkendu uvažuji vyšší teplotu 22 °C od sedmé hodiny ranní do desáté hodiny večerní. Po zbytek dne uvažuji teplotu 19 °C.

2.5.4 Odhady denních průběhů spotřeby

Pro stanovení průběhu spotřeby energie na vytápění jsem vyšel z průměrné spotřeby tepla v otopném období odečtené z výše stanoveného průběhu. Vzhledem k tomu, že většinu spotřeby v rámci obce bude tvořit právě vytápění, nemá smysl se zabývat průběhem spotřeby mimo topné období. Systém, který je dimenzován na zimní období bezpochyby snese i letní provoz, alespoň tedy v podmínkách České republiky, kde používání klimatizace v domácnostech není příliš rozšířené.

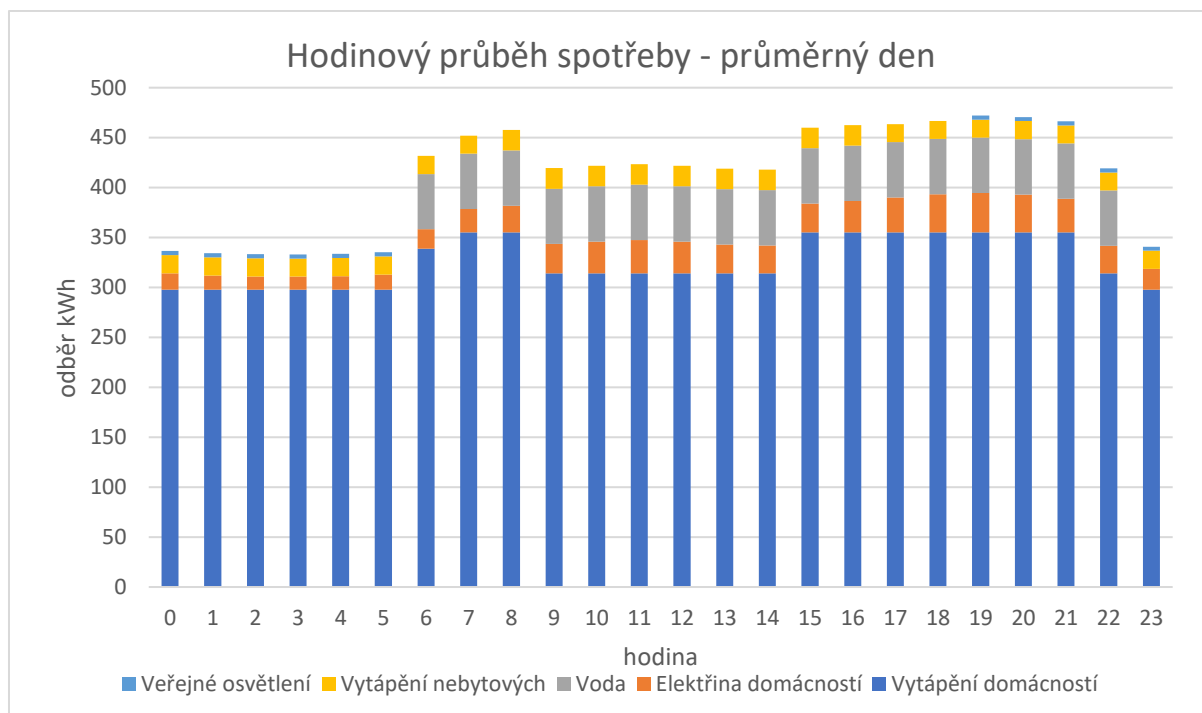
Dále předpokládám přímou úměru mezi využitým výkonem kotle a rozdílem mezi vnitřní a venkovní teplotou. Průběh vnitřních teplot je váženým průměrem odhadnutého průběhu pro všední dny a víkendy. Jako venkovní teplotu uvažuji 3,5 °C dle tabulkových hodnot [70]. Pomocí těchto hodnot jsem vytvořil rozdělení spotřeby energie na vytápění do jednotlivých hodin v relativních hodnotách, úměrně kterým jsem pak rozdělil spotřebu během průměrného dne topného období.

Průběh spotřeby elektřiny v domácnostech a v nebytových prostorách jsem určil pomocí přepočtených typových diagramů [71] dodávky vydávaných Operátorem trhu. Budova obecního domu, která tvoří spotřebu nebytových prostor využívá v současné době tarif D02d, což předpokládám i u většiny domácností v obci, které dosud netopí elektřinou. Vzhledem k tomu, že uvažuji spotřebu elektřiny pro ostatní účely odděleně od spotřeby za účelem vytápění, nebylo by vhodné použít TDD odpovídající spotřebě odběratelů využívajících dvoutarifní sazbu. Pro každou hodinu jsem vypočetl průměrnou spotřebu a z těchto průměrných spotřeb sestavil průměrný denní průběh.

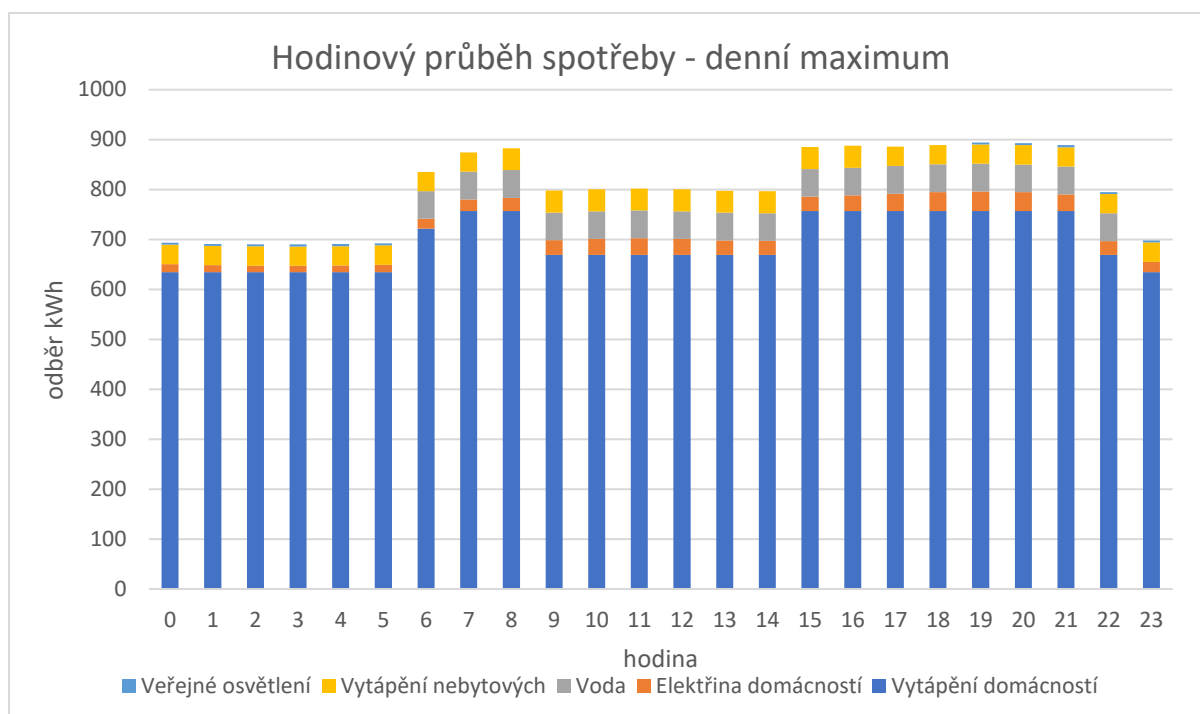
Spotřebu energie na ohřev vody pro jiné účely jsem rozdělil rovnoměrně do období mezi šestou a dvadecátou hodinou (včetně).

Spotřebu elektrické energie pro napájení veřejného osvětlení jsem rozložil do období mezi sedmou hodinou večerní a pátou hodinou ranní (včetně).

Následně jsem vytvořil průběhy hodinových spotřeb v průměrný a maximální den ročního průběhu spotřeby.



Graf 8: Hodinový průběh spotřeby v průměrný den topného období



Graf 9: Hodinový průběh spotřeby v maximální den topného období.

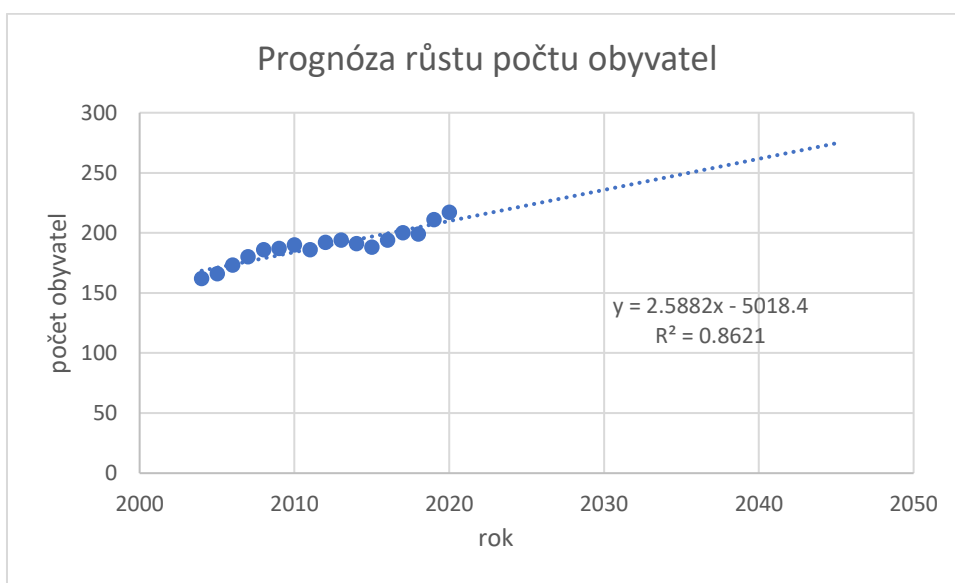
2.5.5 Prognóza vývoje spotřeby

Vzhledem k tomu, že dotační právo (jedná se o princip takzvaného přenosu výhody z veřejné podpory) nedovoluje v tomto případě poskytování elektřiny za cenu zvýhodněnou oproti ceně tržní podnikům [72], je možné předpokládat, že změna celkové roční spotřeby energií bude úměrná změně počtu obyvatel, protože právě rodinné domy a byty budou tvořit většinu odběru. Údaje o počtu obyvatel pro jednotlivé roky z dat Českého statistického úřadu shromažďuje portál obyvateleceska.cz, ze kterého jsem převzal počty obyvatel za roky 2004 až 2020 včetně.

rok	počet obyvatel obce
2004	162
2005	166
2006	173
2007	180
2008	186
2009	187
2010	190
2011	186
2012	192
2013	194
2014	191
2015	188
2016	194
2017	200
2018	199
2019	211
2020	217

Tabulka 3: Počet obyvatel obce

Tyto údaje jsem vynesl do grafu a body proložil přímkou.



Graf 10: Prognóza počtu obyvatel obce

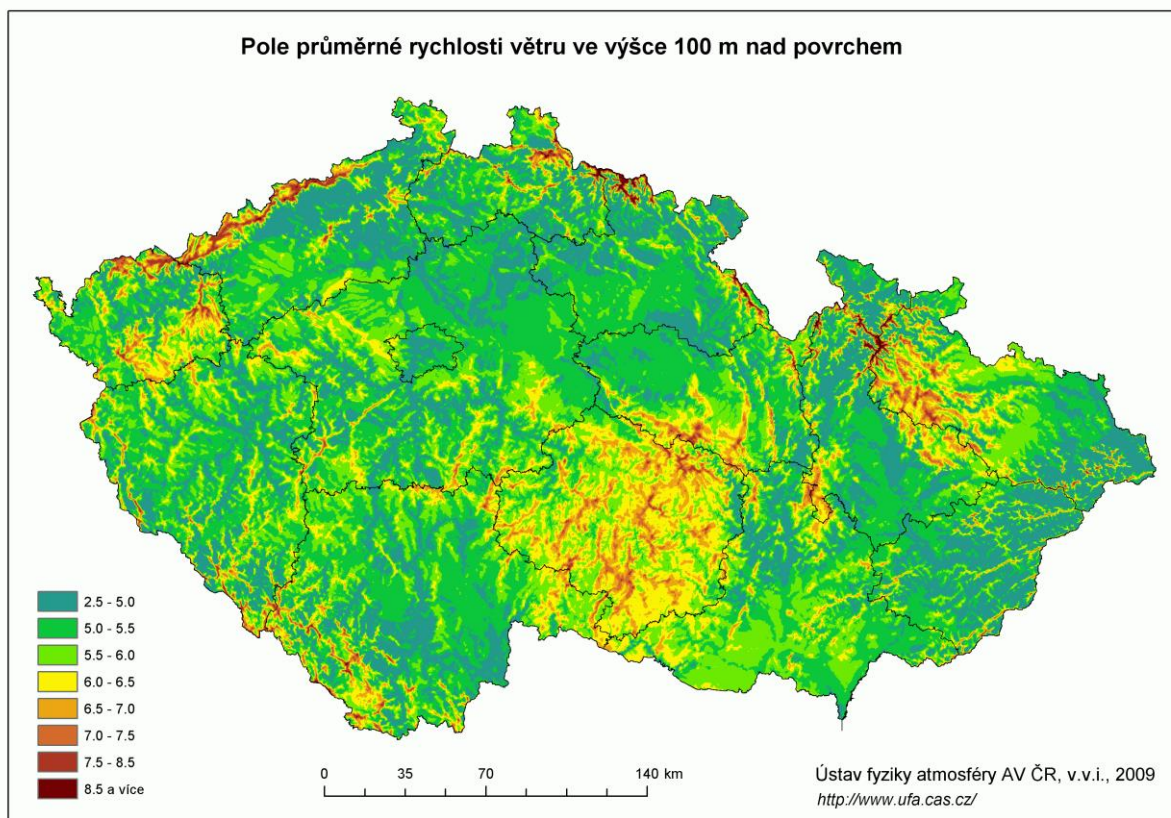
Tato přímka vyjádřená rovnicí $y = 2,5882x - 5018,4$ vzhledem k vysoké hodnotě koeficientu determinace $R^2 = 0,8621$ dobře odpovídá vstupním datům a považuji jí tedy za relativně spolehlivý odhad. Budu-li tedy předpokládat spuštění elektrárny pro účely výpočtů od roku 2025 a životnost 25 let, lze během této doby počítat s nárůstem populace o 68 obyvatel.

3 Dimenzování systému

3.1 Stanovení větrných poměrů

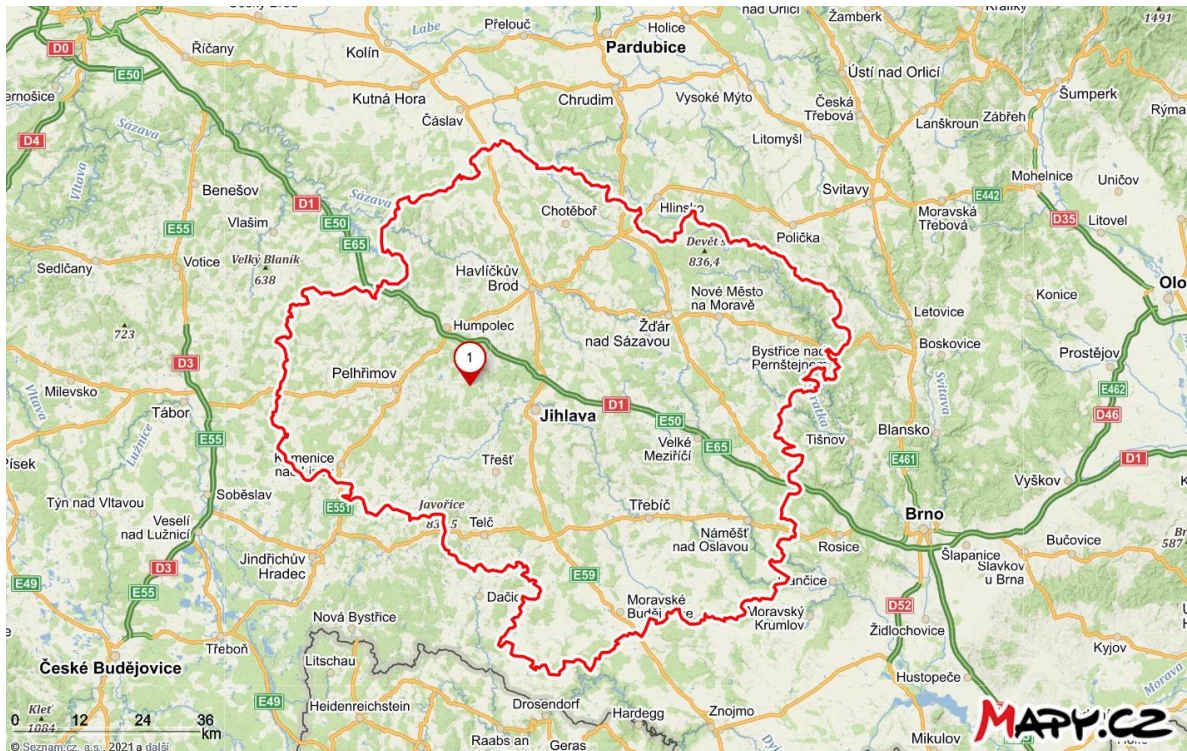
3.1.1 Větrná mapa ve výšce 100 metrů

Větrná mapa České republiky sestavená Ústavem fyziky atmosféry Akademie Věd v roce 2009 zobrazuje průměrnou rychlost větru ve výšce 100 metrů na terénu. Mapa není interaktivní, nicméně pokud na ní určím polohu budoucí výstavby elektrárny s dostatečnou přesností, mohu získat alespoň orientační hodnotu.



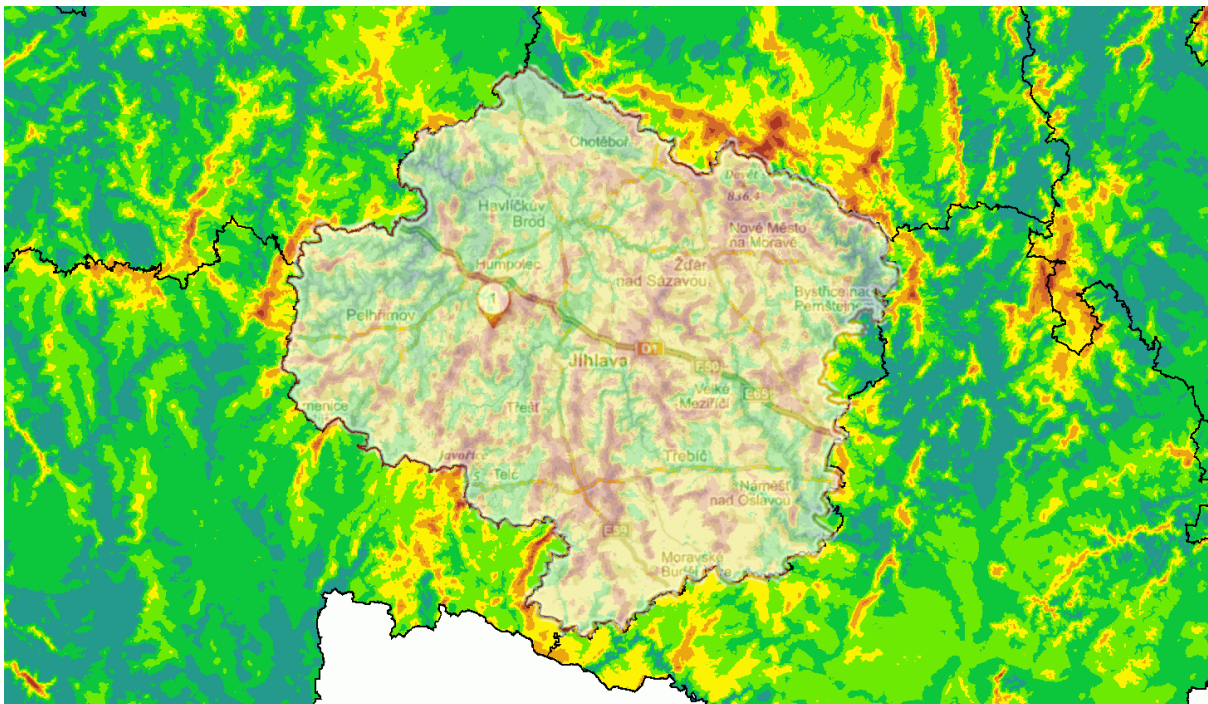
Obrázek 4: Pole průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad povrchem [73]

Na mapě nejsou vyznačená žádná města, ani jiné orientační body. Nicméně hranice krajů vyznačené jsou. Použil jsem tedy veřejně dostupné mapové podklady portálu mapy.cz a vytvořil výřez mapy zobrazující hranice kraje Vysočina a pod značkou i plánovanou polohu elektrárny dle zadání práce.



Obrázek 5: Mapa kraje Vysočina s vyznačenou polohou elektrárny. Získáno z volně dostupných mapových podkladů portálu Mapy.cz

Poté jsem ve volně dostupném grafickém editoru GIMP vyřízl obrys kraje z turistické mapy, přiložil jej jako částečně průhlednou vrstvu na větrnou mapu a upravoval velikost, dokud se po několika opakováních hranice krajů na obou vrstvách mapy nepřekrýly.



Obrázek 6: Poloha elektrárny na větrné mapě

Odečtením z výsledné mapy jsem získal **průměrnou rychlost větru** ve výšce 100 metrů nad terénem v rozsahu **7 až 7,5 metrů za sekundu**. V tuto chvíli je ještě nutné dodat, že odečet jsem provedl v grafickém editoru, který umožňuje neomezené přiblížení a zobrazuje barvy nezkreslené tiskem. Při pohledu na mapu ve výtisku se může barva jevit tmavší. Druhou možnou nesrovnalostí, kterou je rovněž nutné zmínit je nedokonalé překrytí hranic kraje mezi oběma mapami na straně Jihomoravského kraje. Tyto územní nesrovnalosti jsem vysledoval jako důsledek přesunu některých obcí mezi krajem Vysočina a krajem Jihomoravským v roce 2005. [74] Přestože větrná mapa vznikla až v roce 2009, podkladová mapa, na které bylo pole rychlostí větru vygenerováno, evidentně tuto změnu neobsahovala.

3.1.2 Větrná mapa ve výšce 10 metrů

Větrná mapa pro výšku 100 metrů nad terénem sice poskytla údaje, které dobře odpovídají nabízené výšce gondoly, nicméně neposkytla žádné údaje ohledně rozdělení pravděpodobnosti rychlosti větru. Tyto údaje by v případě reálné výstavby byly zjištěny dlouhodobým odborným měřením v místě, nicméně pro získání alespoň přibližného odhadu použiji přepočtení hodnot z interaktivní větrné mapy pro výšku 10 metrů nad terénem podle vztahu [75]:

$$v = v_0 \times \left(\frac{h}{h_0}\right)^n$$

Kde v_0 je rychlost větru ve výchozí výšce, h_0 je výchozí výška, v je zjišťovaná rychlost větru, h je výpočtová výška a n je exponent vyjadřující drsnost povrchu daný tabulkou.

Druh povrchu		n
a	hladký povrch – vodní hladina, písek	0,14
b	louka s nízkým travnatým povrchem, oranice	0,16
c	vysoká tráva, nízké obilné porosty	0,18
d	porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesní	0,21
e	lesy s mnoha stromy	0,28
f	vesnice a malá města	0,48

Tabulka 4: Hodnoty exponentu [76]

Větrná mapa pro výšku 10 metrů nad terénem byla vytvořena Ústavem fyziky atmosféry Akademie Věd ČR v rámci programu AV21 pro zájemce o výstavbu malé větrné elektrárny jako nástroj pro orientační určení očekávané výroby energie v místě. Aplikace zohledňuje vliv lokálního terénu. Lokální překážky proudění nejsou v modelu zohledněny, nicméně ve výšce gondoly přibližně 100 metrů nad terénem by byl vliv těchto překážek podstatně nižší oproti malé větrné elektrárně o výšce gondoly 10 metrů a průměru rotoru 5 metrů, pro které je aplikace určena. [77] Výstupem aplikace je kromě tabulky

relativní četnosti rychlostí větru pro různé azimuty hlavně hodnota průměrné rychlosti větru a parametry Weibullova rozdělení pro modelování hustoty pravděpodobnosti rychlosti větru, které plánuji použít pro modelování očekávané roční výroby energie v kombinaci s výkonovou křivkou turbíny. Vzhledem k tomu, že aplikace funguje na bázi satelitních map a pro zjištění údajů postačí pouze kliknutí na zvolené místo, nebudu její použití podrobněji popisovat.

Po zvolení místa předpokládané výstavby jsem pro výšku 10 metrů nad terénem získal tyto údaje. Průměrná rychlost větru v_0 o hodnotě 4,37 metrů za sekundu, parametr měřítka A Weibullova rozdělení o velikosti 4,93 metrů za sekundu a tvarový parametr k rovný 1,88.

Nyní provedu přepočítání průměrné rychlosti větru pro výšku 100 metrů nad terénem pomocí výše uvedeného vztahu. Plánované místo výstavby turbíny je obklopeno ze tří stran lesy, nachází se nicméně na obdělávaném poli (bude třeba změnit územní plán a vyjmout plochu z půdního fondu). Provedu tedy výpočet pro hodnoty exponentu n 0,21 a 0,28, čímž získám rozsah, ve kterém byla očekávaná rychlost větru ve výšce 100 metrů nad terénem pravděpodobně stanovena při použití přepočtu po odborném stanovení koeficientu drsnosti povrchu.

$$v_{max} = 4,37 \times \left(\frac{100}{10}\right)^{0,28} = 8,35 \text{ m/s}$$

$$v_{min} = 4,37 \times \left(\frac{100}{10}\right)^{0,21} = 7,09 \text{ m/s}$$

Získal jsem tedy rozsah odhadu **střední rychlosti větru** ve výšce 100 metrů nad terénem od **7,09 metrů za sekundu do 8,35 metrů za sekundu**.

3.1.3 Stanovení výpočtových parametrů

Větrná mapa pro výšku 100 metrů nad terénem stanovila očekávanou střední rychlost větru v rozsahu 7,0 až 7,5 metrů za sekundu. Přepočítání hodnot interaktivní větrné mapy pro výšku 10 metrů nad terénem určil rozsah 7,1 až 8,4 metrů za sekundu (zaokrouhlo na jedno desetinné místo). Jako výchozí hodnotu pro výpočty tedy použiji hodnotu 7,5 metrů za sekundu a krajní hodnoty intervalů poslouží jako vodítko pro citlivostní analýzu.

Hodnotu tvarového parametru k Weibullova rozdělení poskytla pouze interaktivní větrná mapa pro výšku 10 metrů nad terénem. Převzmu tedy určenou hodnotu $k = 1,88$.

3.1.4 Výsledná rozdělení

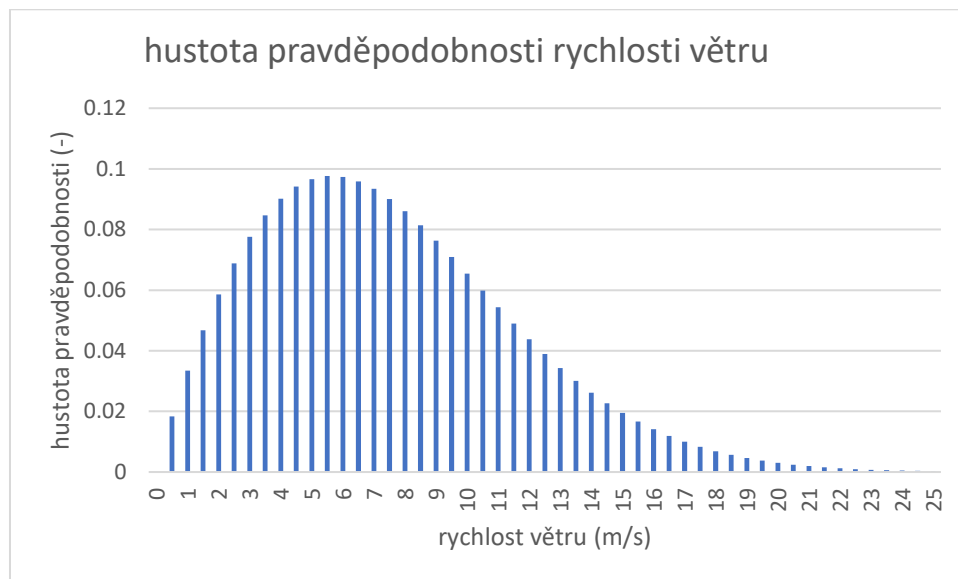
Pozn.: Provedené výpočty jsou dostupné v příloženém souboru programu MS Excel.

Hodnotu tvarového parametru Weibullova rozdělení jsem použil z interaktivní větrné mapy. Zbývá tedy stanovit parametr měřítka Weibullova rozdělení, který rozměrově odpovídá hodnotě průměrné rychlosti větru, ale není jí roven. Pro stanovení této hodnoty jsem použil on-line nástroj Dánské asociace větrného průmyslu (Danish Wind Industry Association) dostupný na níže uvedené adrese.

<http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wres/weibull/index.htm>

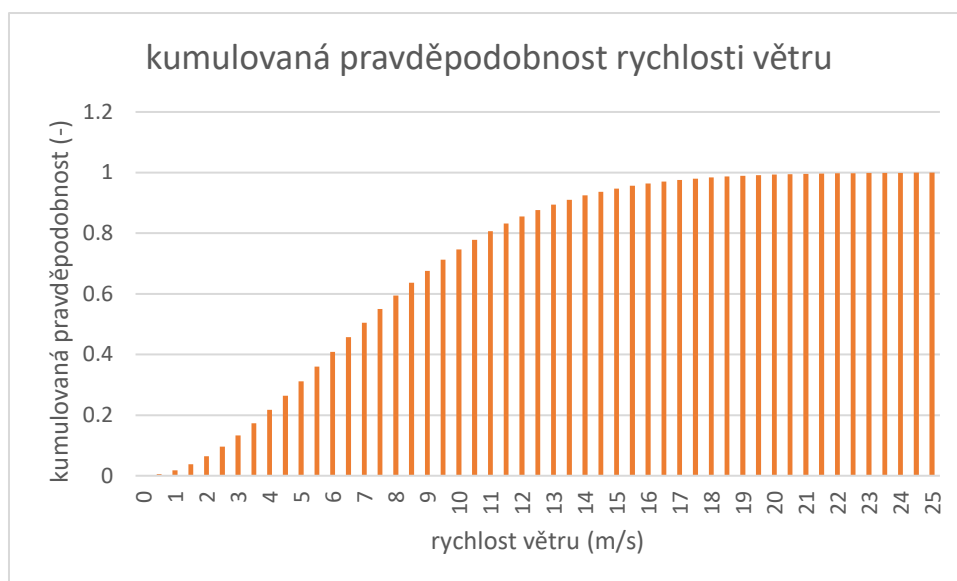
Nástroj stanovil parametr měřítka A na 8,45 (po zadání ostatních údajů).

Následně jsem stanovil hodnoty hustoty pravděpodobnosti pomocí zabudované funkce *WEIBULL.DIST(, , , FALSE)* pro rychlosti větru od nuly do maxima zkoumané elektrárny.



Graf 11: Graf Weibullova rozdělení rychlostí větru

Pro stanovení hodnot vyjadřujících relativní dobu trvání dané rychlosti větru jsem použil zabudovanou funkci *WEIBULL.DIST(, , , TRUE)*, která vrací hodnotu distribuční funkce Weibullova rozdělení.



Graf 12: Graf distribuční funkce Weibullova rozdělení rychlosti větru

3.2 Model výroby

Výpočet očekávané roční produkce elektřiny vychází z hodnot distribuční funkce popsané v předcházejícím bodě a z výkonové křivky zkoumané elektrárny zjištěné v dokumentaci výrobce. Pro výpočet očekávané výroby elektráren s odlišnou výškou gondoly nad terénem je třeba manuálně zadat odpovídající hodnotu parametru měřítka Weibullova rozdělení. Rovněž je možné měnit hodnoty tvarového parametru.

Vstupy modelu jsou:

- Výkonová křivka elektrárny zadaná v kilowattech odstupňovaná po 1 m/s rychlosti větru v rozsahu 0 až 25 m/s.
- Parametr měřítka Weibullova rozdělení.
- Tvarový parametr Weibullova rozdělení.

Odečtením vygenerované hodnoty distribuční funkce pro zadanou rychlost větru od hodnoty distribuční funkce vygenerované pro rychlost o jeden inkrement nižší jsem získal přibližnou hodnotu relativní četnosti dané rychlosti větru během roku, kterou jsem následně vynásobením počtem hodin v roce (8 766) převedl na dobu trvání dané rychlosti větru v běžném roce vyjádřenou v hodinách. Po vynásobení získané hodnoty hodnotou výkonu pro danou rychlost z výkonové křivky elektrárny získám hodnoty očekávané výroby energie pro každou přípustnou rychlost větru.

Nicméně vzhledem k tomu, že odečtením hodnot distribuční funkce pro dva po sobě jdoucí stupně nezískávám relativní četnost rychlosti větru nabývající právě vyšší hodnoty rychlosti větru, ale relativní četnost rychlosti větru spadající do intervalu mezi horní a spodní hranicí rychlosti větru, vzniká

vynásobením hodnotou udávaného výkonu pro horní hranici chyba. Tuto chybu jsem tedy potlačil tím, že jsem jako hodnotu výkonu pro výpočet použil aritmetický průměr výkonů pro horní a spodní hranici rozsahu. Výsledný vztah použitý pro výpočet tedy je:

$$E_v = (DIST_v - DIST_{v-0,5}) * 8766 * \frac{P_v + P_{v-0,5}}{2}$$

Výstupem modelu je očekávaná celková roční výroba uvedená v MWh

3.3 Model výroby s akumulací

Model se zakládá na historických datech o denní průměrné rychlosti větru na meteorologické stanici Příbyslav, dostupných z webových stránek Českého hydrometeorologického ústavu [78] a na výkonové křivce větrné elektrárny poskytnuté výrobcem. Denní data o průměrné rychlosti větru z reálné stanice jsem použil z toho důvodu, že parametry rozdělení rychlosti větru a z nich získané údaje o očekávané spotřebě neposkytují konkrétní představu o změnách rychlosti větru, a tedy i výroby elektřiny mezi jednotlivými dny.

Pro modelování jsem použil údaje o denní průměrné rychlosti větru za roky 2017, 2018 a 2019, čímž jsem získal 1 095 dnů skutečných dat. Rok 2020 jsem záměrně nepoužil, protože šlo o rok přestupný a vznikla by komplikace v podobě nestejného počtu dnů mezi rokem použitým v modelu a odhadovaným průběhem denní spotřeby tepla stanoveném v bodě 2.4.3. Vynásobením průměrné denní rychlosti větru a hodnoty výkonu dané výkonovou křivkou získám odhadovanou denní produkci elektrárny. Ta by ovšem odpovídala umístění elektrárny v Příbyslavi, nikoli v plánované lokalitě. Proto je do modelu zařazen koeficient korekce rychlosti větru, kterým je každá denní rychlost vynásobena a jehož hodnotu jsem zvolil tak, aby souhrnná roční výroba dle modelu odpovídala odhadované roční produkci elektrárny stanovené pomocí parametrů Weibullova rozdělení. Tím by měla být zachována relativní četnost více a méně větrných dnů, stejně jako jejich časová souslednost. Při skutečné realizaci projektu by přesnější data (zejména hodnoty rychlosti větru naměřené v kratších intervalech) poskytlo odborné měření v místě.

Spotřeba je modelována pomocí odhadovaného průběhu denní spotřeby tepla stanoveného v bodě 2.4.3. předaného do kilowatthodin. Minutová či hodinová data o rychlostech větru nemám k dispozici, proto tento model počítá pouze s celodenními hodnotami výroby a spotřeby a akumulace zahrnuje pouze přetoky do následujících dní, nikoli stav a využívání akumulace v průběhu jednotlivých dnů.

Protože je primárním účelem elektrárny zajištění zásobování elektrickou energií pro obec, je model nastaven tak, aby upřednostňoval před prodejem nadbytečné výroby její ukládání do akumulační části a pouze při jejím zaplnění dojde k prodeji přebytku. Model rovněž za účelem maximalizace využití levné elektřiny z větrné elektrárny upřednostňuje odběr z akumulace před odběrem ze sítě.

Nastavitelnými vstupy modelu jsou:

- Výkonová křivka elektrárny zadaná v kilowattech odstupňovaná po 1 m/s rychlosti větru v rozsahu 0 až 25 m/s.
- Kapacita akumulace v kilowatthodinách nastavitelná libovolně, což umožňuje optimalizaci její velikosti.
- Prodejní a kupní cena elektřiny v Korunách na kilowatthodinu.
- Koeficient korekce rychlosti větru pro srovnání roční výroby s její očekávanou hodnotou.
- Koeficient ztrát při přenosu mezi elektrárnou a zařízením v obci.
- Koeficienty ztrát energie při nabíjení baterie a při odběru z ní.
- Koeficient ztrát vytápění a rozvodu.

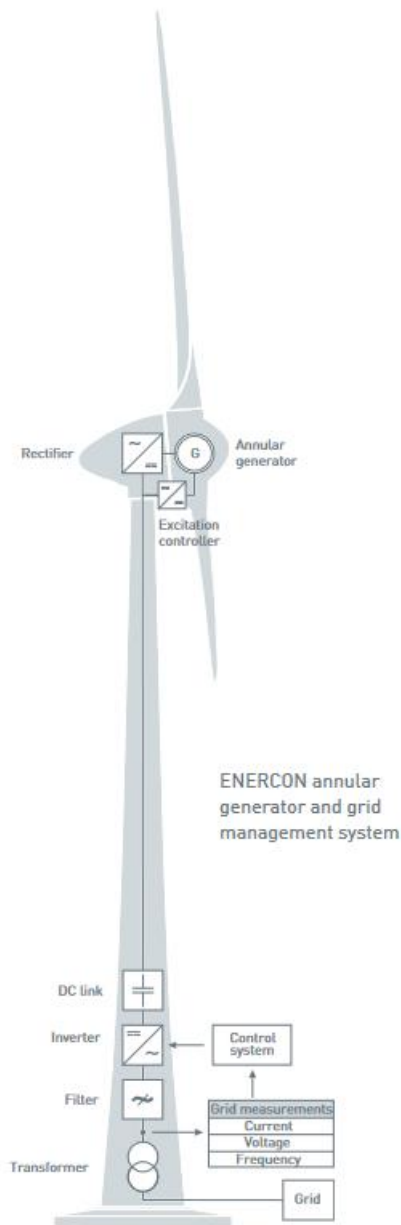
Model po odečtení denní spotřeby od počátečního stavu akumulace a denní výroby vypočte pro každý den konečný stav akumulace, jehož hodnota se přenáší do dalšího dne a dále buď množství dokoupené elektřiny ze sítě (v případech kdy denní spotřeba překročí součet denní výroby a počátečního stavu akumulace), nebo objem přebytku elektřiny odvedeného do sítě (v případech kdy přebytek elektřiny po pokrytí denní spotřeby přesáhne kapacitu akumulace).

Model dále počítá odhadovaný koeficient využití energie během topného období. Dny, během kterých vytápění neprobíhá jsem do výpočtu koeficientu záměrně nezahrnul, protože nevyužití energie ze zdroje, který je zatěžován sezónně ale vyrábí v průběhu celého roku je nevyhnutelné a vypovídací hodnota výstupu by se tím snižovala.

3.4 Volba elektrárny

3.4.1 Popis

Pro výběr vhodné elektrárny k realizaci projektu jsem zvolil portfolio Německé firmy Enercon. Elektrárny jsou bezpřevodovkové, vybavené pomaluběžným synchronním generátorem s dlouhou životností, který není přifázován k soustavě, ale jeho výkon je vyveden přes kombinaci usměrňovače a střídače, výstupního filtru a transformátoru, což zajišťuje výstup v souladu s pravidly provozování distribuční soustavy. [79]

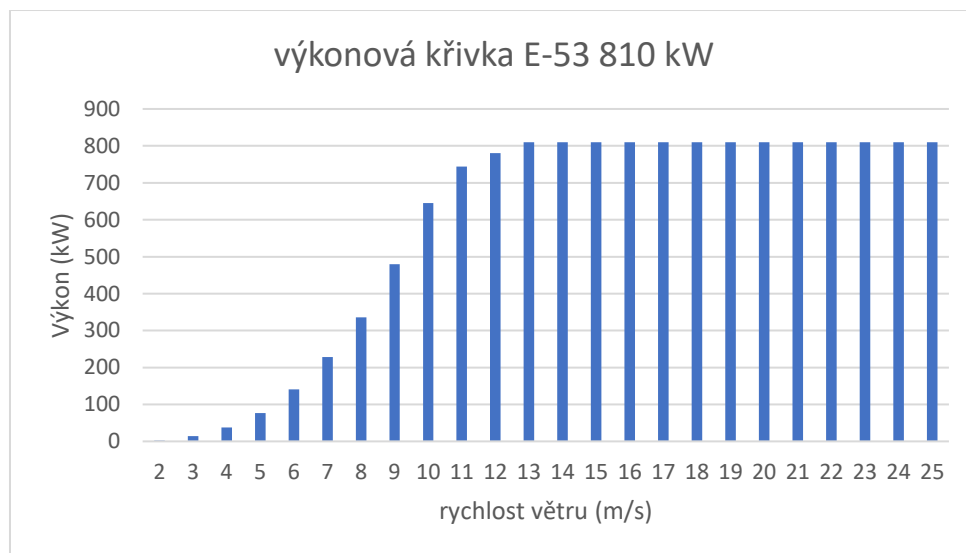


Obrázek 7: Schéma větrné elektrárny Enercon [80]

Protože souběh spotřeby s výrobou je náhodný, není možné pouze odečíst katalogovou hodnotu roční výroby a porovnat jí s očekávanou spotřebou. Zvolil jsem tedy k porovnání tři větrné elektrárny o různém jmenovitém výkonu a jejich vhodnost posoudím podle výstupu modelu roční výroby a modelu akumulace. Vzhledem k tomu, že firma Enercon v aktuální verzi brožury neuvádí výkonovou křivku, ale pouze graf očekávané roční produkce v závislosti na průměrné rychlosti větru, omezil jsem výběr na modely, které již byly v produkci v roce 2015, kdy brožura výkonové křivky obsahovala.

3.4.2 Enercon E-53 810 kW

První a nejmenší posuzovanou elektrárnou je model E-53. Jmenovitý výkon elektrárny je 810 kW, průměr rotoru je 73 metrů. Životnost této elektrárny dle údajů výrobce je 20 let. [81] Její výkonová křivka je uvedena níže.



Graf 13: Výkonová křivka elektrárny E-53 [82]

Protože výška gondoly není shodná s výškou, pro kterou jsem stanovil větrné poměry v bodě 3.1.3, přepočtu ji opět podle vztahu:

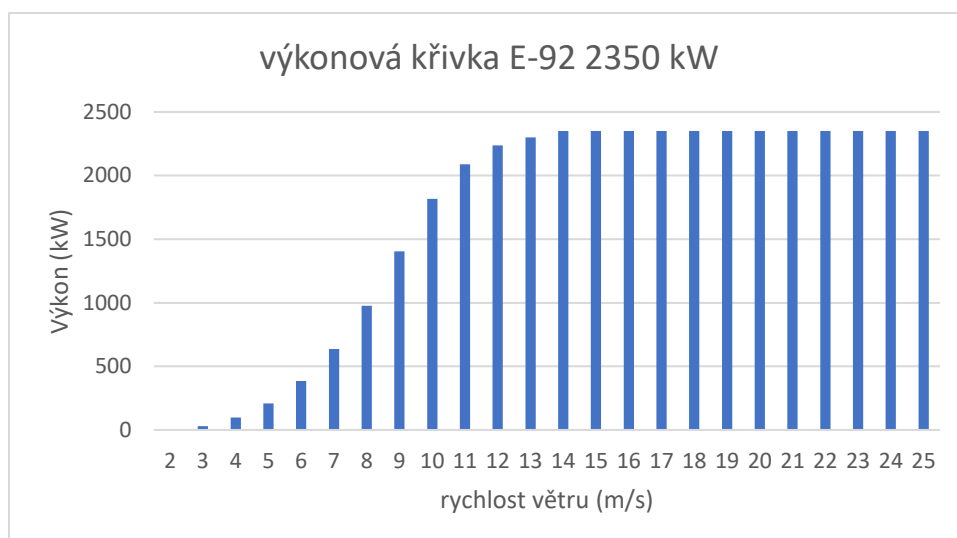
$$v = v_0 \times \left(\frac{h}{h_0}\right)^n$$

Pro parametr n rovný 0,28 získám rychlost větru 6,87 metrů za sekundu a pro parametr n rovný 0,21 získám rychlost větru 7,02 metrů za sekundu. Budu tedy v modelu výroby počítat s rychlostí větru 6,9 metrů za sekundu. Vstupem modelu bude tedy parametr měřítka A roven 7,77 a tvarový parametr k rovný 1,88.

Výstupem modelu roční produkce je očekávaná výroba ve výši 2 535 MWh a koeficient využití 35,7 % (doba využití maxima 3 130 hodin), což odpovídá grafu očekávané roční produkce v brožuře výrobce.

3.4.3 Enercon E-92 2350 kW

Druhou posuzovanou elektrárnou je model E-92 o jmenovitém výkonu 2 350 kW. Tato elektrárna má průměr rotoru 92 metrů a zvolil jsem variantu o výšce stožáru 98 metrů. Životnost této elektrárny je dle údajů výrobce 25 let. [83] Vzhledem k pouze dvoumetrovému rozdílu a k dostupnosti varianty o výšce 104 metrů nebudu ani přepočítávat očekávanou rychlost větru 7,5 metrů za sekundu ve výšce 100 metrů nad terémem. Výkonová křivka elektrárny je uvedena níže.



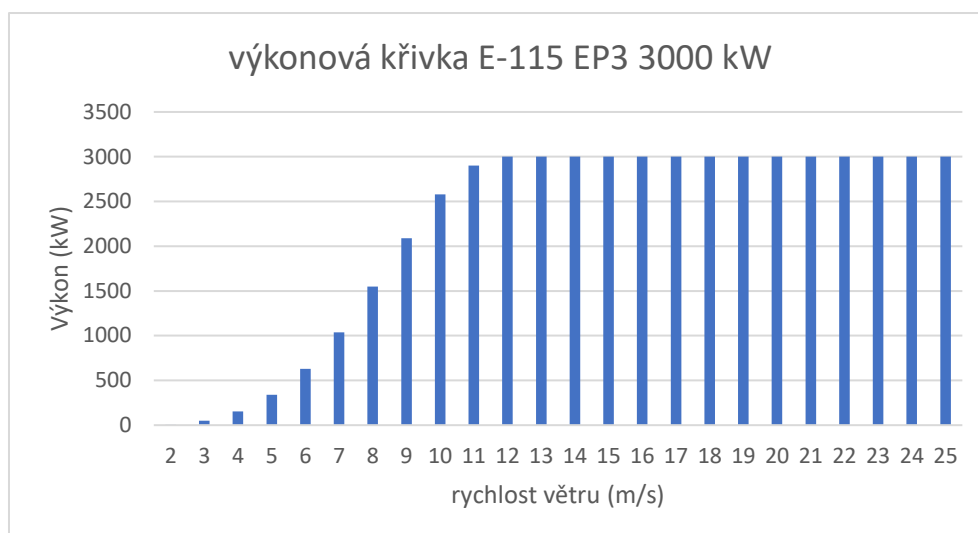
Graf 14: Výkonová křivka elektrárny E-92 [84]

Vstupem modelu výroby tedy bude parametr měřítka A rovný 8,45 a tvarový parametr k rovný 1,88.

Výslednou očekávanou roční výrobou elektrárny je 8 239 MWh, s koeficientem využití 40 % (doba využití maxima 3 506 hodin). Výsledek mě překvapil vysokou hodnotou koeficientu využití. Podle zdrojů [85], které jsem vyhledal před provedením výpočtu jsem u větrné elektrárny v podmínkách České republiky očekával koeficient využití spíše v rozsahu 25–30 %. Rozhodl jsem se tedy dále zkoumat, proč jsou hodnoty takto vysoké a pokusit se dohledat, zda jiný zdroj uvádí pro elektrárnu obdobných parametrů za srovnatelných větrných poměrů podobné výsledky. Toto se mi podařilo v dokumentu *Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice z perspektivy roku 2020* [86], který uvádí pro elektrárnu Nordex N117, jejíž parametry (maximální výkon 2 400 kW a dosažení maxima výkonu při rychlosti větru mezi 11 a 12 metry za sekundu) jsou obdobné při shodné střední rychlosti větru 7,5 metru za sekundu celkovou výrobu 10 778 MWh za rok a koeficient využití (v textu označený jako kapacitní faktor) dokonce 51.2 %. Příčina takto vysoké hodnoty koeficientu využití je v textu rovněž vysvětlena. Zkoumaná elektrárna dosahuje maxima výkonu (nebo hodnot maximum velmi blízkých) při rychlosti větru, která je vzhledem k větrným poměrům v lokalitě relativně nízká. Obdobná větrná elektrárna, která by ale byla konstruována pro vyšší maximum výkonu dosažené až při vyšších rychlostech větru, by byla schopna lépe využít dostupnou energii větru v lokalitě, ale vykazovala by nižší koeficient využití. Z toho usuzuji, že vysoké hodnoty doby využití maxima a koeficientu využití v mém výpočtu rovněž neukazují na početní chybu.

3.4.4 Enercon E-115 3000 kW

Poslední a největší zkoumanou variantou je model E-115 EP3 a jmenovitým výkonu 3 000 kW. Elektrárna má rotor o průměru 115.7 metru a je k dispozici s výškou gondoly 67, 89, 92, 122, 135 a 149 metru. Životnost této elektrárny je dle údajů výrobce 25 let. [87] Zvolil jsem variantu o výšce gondoly 135 metru, pro kterou jsem přepočítal rychlost větru na 8 metru za sekundu. Výkonová křivka elektrárny je uveden níže.



Graf 15: Výkonová křivka elektrárny E-115 EP3 [88]

Vstupem modelu je parametr měřítka A rovný 9,01 a tvarový parametr k , rovný 1,88.

Očekávanou hodnotou roční výroby je dle modelu 12 672 MWh s koeficientem využití 48,2 % a dobou využití maxima 4 224 hodin.

3.4.5 Výstupy modelu

Pro nejmenší zkoumanou elektrárnu E-53 určil model akumulace při očekávané roční výrobě 2 535 MWh v závislosti na objemu akumulace od 20 % do 100 % teoretického hodinového maxima tyto hodnoty:

varianta akumulace (MWh)	0.162	0.243	0.324	0.405	0.486	0.567	0.648	0.729	0.81
dodávka obci (MWh)	1 638	1 643	1 648	1 653	1 658	1 664	1 669	1 674	1 684
prodej na trhu (MWh)	885	880	875	870	865	860	855	851	846

Tabulka 5: Objemy prodeje energie na trhu a dodávek do obce v závislosti na kapacitě akumulace v MWh.

Pro střední zkoumanou elektrárnu E-92 při očekávané roční výrobě 8 200 MWh určil model tyto výstupy:

varianta akumulace (MWh)	0.47	0.705	0.94	1.175	1.41	1.645	1.88	2.115	2.35
dodávka obci (MWh)	2 311	2 322	2 332	2 344	2 353	2 362	2 371	2 380	2 389
prodej na trhu (MWh)	5 831	5 820	5 809	5 800	5 791	5 782	5 773	5 765	5 757

Tabulka 6: Objemy prodeje energie na trhu a dodávek do obce v závislosti na kapacitě akumulace v MWh.

Pro největší zkoumanou elektrárnu E-115 EP3 stanovil model při očekávané roční výrobě 12 672 MWh tyto hodnoty:

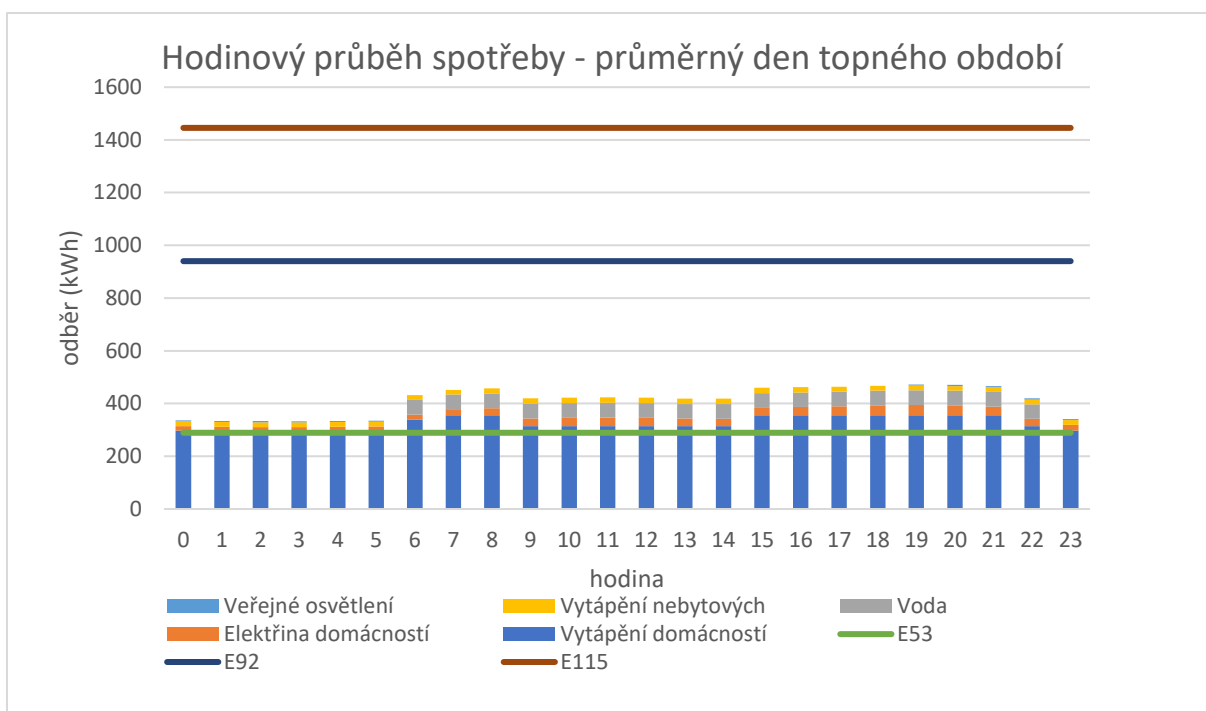
varianta akumulace (MWh)	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3
dodávka obci (MWh)	2 538	2 547	2 554	2 564	2 571	2 579	2 587	2 595	2 601
prodej na trhu (MWh)	10 254	10 245	10 237	10 229	10 221	10 214	10 206	10 199	10 192

Tabulka 7: Objemy prodeje energie na trhu a dodávek do obce v závislosti na kapacitě akumulace v MWh.

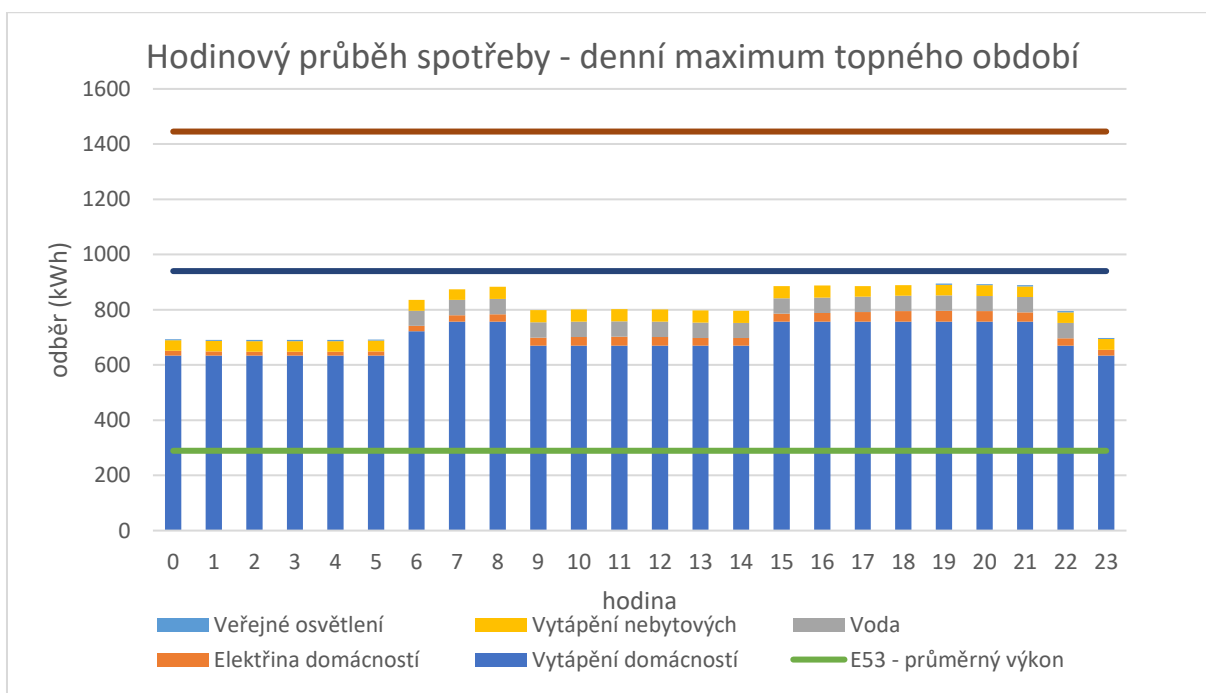
3.4.6 Volba elektráren

Z hodnot uvedených v předchozím bodě je zřejmé, že s rostoucím výkonem, a tedy i roční výrobou elektrárny roste objem přebytků výroby podstatně rychleji než objem dodávky do obce. S rostoucí mírou pokrytí energetických potřeb obce větrnou elektrárnou prudce klesá míra využití energie větrné elektrárny obcí. Nejmenší posuzovanou elektrárnu E-53 nepovažují za perspektivní právě z důvodu vysokého využití vyrobené energie, a tedy absence značných přebytků k prodeji. Vzhledem k vysoké ceně vytápění elektrickou energií (za tržní cenu) oproti lokálním topeništím považují pro zajištění ochoty obyvatel obce k přechodu na toto řešení za nutné poskytovat energii za značně zvýhodněnou sazbu oproti distribuční sazbě. V opačném případě je nepravděpodobné, že by o využití energie větru byl mezi obyvateli vůbec zájem. Navíc je nepravděpodobné, že by se obyvatelé obce stavěli k výstavbě větrné elektrárny a souvisejících zařízení příznivě, pokud by jim z přítomnosti elektrárny neplynula měřitelná finanční výhoda. Příjmy pro pokrytí investice vlastními prostředky a nezbytného úvěru bude nutné zajistit z velké části právě prodejem přebytků a je tedy nutné zvolit elektrárnu naddimenzovanou oproti očekávané roční spotřebě. Tomuto požadavku vyhovují elektrárny E-92 a E-115 EP3.

Jako dobrá vizualizace problému poslouží rovněž vynesení střední hodnoty výroby příslušných elektráren do grafu očekávané denní spotřeby.



Graf 16: Porovnání očekávaného hodinového průběhu spotřeby v průměrném dni topného období se středními hodnotami výroby zvažovaných větrných elektráren.



Graf 17: Porovnání očekávaného hodinového průběhu spotřeby během dne maximální spotřeby se středními hodnotami výroby zvažovaných větrných elektráren.

Z těchto grafických znázornění je zřejmé, že pokud by elektrárna E-53 dodávala očekávanou hodnotu roční výroby konstantním a nepřetržitým výkonem (ideální a nereálný stav), nedosahovala by během topného období ani hodnot potřebných pro pokrytí okamžité spotřeby průměrného dne.

Elektrárna je tedy jak výkonově nedostatečná, tak ekonomicky neperspektivní a nebude nadále posuzována.

Oproti ní elektrárny E-92 a E-115 EP3 poskytují jak podstatně vyšší objem přebytků pro prodej do sítě, tak i výkonovou rezervu mezi průměrným očekávaným výkonem a očekávaným zatížením, což vytváří větší prostor pro nabíjení akumulace během provozu.

3.5 Využití akumulace během dne

Zásadní slabinou vytvořeného modelu akumulace je fakt, že nesimuluje toky akumulací a zaplnění její kapacity v průběhu dne. Bohužel nemám k dispozici data o rychlostech větru se vzorkováním alespoň po patnácti či méně minutách z lokality či z blízkého okolí, což by mi umožnilo tyto toky nasimulovat. Při skutečné realizaci projektu by v přípravné fázi proběhlo na místě dlouhodobé měření v plánované poloze a výšce elektrárny, případně i v několika různých výškách na jednom stožáru a výsledná data by bylo možné použít pro takovou simulaci a následné lepší stanovení optimální kapacity akumulace.

Nicméně je nutné pro účely práce provést alespoň hrubý odhad potřebné kapacity. Výchozím bodem je rozsah akumulace specifikovaný podmínkami dotačního programu RES+ a to 20 % až 100 % teoretického maxima hodinové výroby. Akumulace o kapacitě mimo tento rozsah by nebyla způsobilá pro čerpání investiční podpory.

Jako minimalistickou variantu akumulace jsem se rozhodl použít kapacitu odpovídající nejvyšší hodinové spotřebě v maximální den topné sezóny, tedy 900 kWh. Vyšel jsem z toho, že při dvoutarifové sazbě D 57d je minimální délkou nepřerušené platnosti nízkého tarifu právě jedna hodina. [89] Při slabém či přerušovaném větru by tato varianta umožňovala nabíjení do vytvoření alespoň hodinové rezervy, při jejímž dosažení by byl spuštěn nízký tarif po dobu jedné hodiny či déle v závislosti na příkonu do baterie během jeho trvání. U elektrárny E-92 jsou tedy vyloučeny varianty akumulace pod 40 % přípustné kapacity a u elektrárny E-115 varianty pod 30 % přípustné kapacity.

4 Sestavení variant

4.1 Nulová varianta

Pro výpočet ekonomické efektivnosti zvažované varianty je nutné porovnávat jí s variantou nulovou. V tomto konkrétním případě ovšem není únosné jako nulovou variantu uvažovat „žádné opatření“, protože z dlouhodobého hlediska je za účelem ochrany zdraví obyvatel náhrada lokálních topenišť nutností. Navíc od roku 2022 vstoupí v platnost povinnost na základě zákona č. 201/2012 Sb. O ochraně ovzduší [90] provozovat pouze takové stacionární kotle na pevná paliva, které disponují certifikací potvrzující splnění emisních požadavků dle 3 třídy normy ČSN EN 303-5 [91]. Stávající stav a dlouhodobý provoz existujících lokálních topenišť tedy nebude ani legislativně přípustný. Je tedy nutné porovnávat projekt s jinou, vhodně zvolenou teoretickou variantou.

Vytápění zemním plynem je sice cenově dostupnou a rozšířenou alternativou, která by splnila účel zvýšení kvality ovzduší v obci, nicméně obec není plynofikována, tedy tuto variantu zvažovat nelze. Různé varianty centrálního zásobování, ať už jde o obecní výtopnu, zásobník na zemní plyn či jiné varianty, by měly vysoké investiční náklady a jednalo by se v podstatě o porovnávání několika velkých projektů mezi sebou, ne o srovnání ambiciózního projektu s konzervativním postupem. Tepelná čerpadla jsou rovněž velmi nákladná na zavedení.

Zbývají tedy lokální kotle na pevná paliva a lokální kotle na elektřinu. Vzhledem k tomu, že při uvažování kotlů na pevná paliva by bylo nutné porovnávat jejich emisní náročnost s emisní náročností současných lokálních topenišť a zabývat se hodnotou relativního (ale ne úplného) snížení znečištění ovzduší z lokálních topenišť, bude vhodnější uvažovat jako nulovou variantu elektrické kotle. Elektrokotel v místě provozu neprodukuje žádné emise, tedy dokonale splní účel zvýšení kvality ovzduší v obci, nevyžaduje příliš vysokou počáteční investici a tyto kotle jsou na trhu běžně dostupné v mnoha provedeních a výkonových variantách. Další významnou výhodou elektrických kotlů jako nulové varianty je fakt, že tyto kotle mohou při návrhu zůstat stejné jak pro nulovou variantu provozu na elektřinu z distribuční sítě, tak pro zvažovanou variantu napájení elektřinou z větrné elektrárny, a protože využívají stejné „palivo“, bude možné snadněji porovnat ekonomiku provozu obou variant.

4.1.1 Stanovení parametrů nulové varianty

Vzhledem k tomu, že účelem této práce není zkoumání problematiky výběru kotle pro konkrétní domácnost, bude nutné provést určitá zjednodušení. Domácnosti nacházející se v obci rozdělím na dva druhy náhradní domácnosti, a to náhradní dům staré zástavby reprezentující domy postavené před rokem 2005, jehož spotřeba tepla bude stanovena údaji převzatými z práce Bc. Kováče (viz. bod 2.4.1.) a náhradní dům postavený mezi lety 2005 a 2020 reprezentující novou zástavbu v obci, jejichž spotřebu tepla jsem již stanovil. Spotřebu tepla větších budov v obci budu uvažovat jednotlivě. Předpokládám dále, že přesné stanovení potřebného výkonu kotle na základě tepelných ztrát dané budovy by bylo provedeno v režii každého jednotlivého majitele a pro účely stanovení parametrů kotle náhradních domů postačí orientační metody. Stanovím jej tedy dle tabulkových hodnot podle podlahové plochy a typu budovy.

Rovněž je třeba dodat, že vzhledem k opakovaným změnám legislativy upravující energetickou náročnost novostaveb by bylo nejpřesnější rozdělit novou zástavbu po roce 2005 na dvě skupiny, a to budovy postavené mezi lety 2005 až 2013 a mezi lety 2013 až 2019, protože právě v roce 2013 došlo ke změně standardů. Rozhodl jsem se tak neučinit z několika důvodů. Zaprvé, novější standardy již nestanovují maximální spotřebu absolutní hodnotu, ale porovnáním s tzv. referenční budovou. Spotřeba budovy se kvůli tomu může lišit podle faktorů jako je orientace, prosklení, tvar budovy atd. To sice vede ke „spravedlivějšímu“ porovnání různorodých budov, ale na novostavbu důsledkem toho není kladen absolutní požadavek na nižší energetickou náročnost. Pokud bych tedy stanovil průměrnou spotřebu takovéto nové budovy, stále by nebyla žádná záruka, že ve skutečnosti je spotřeba budov postavených po roce 2013 nižší. Přiřazení spotřeby podle měkčího standardu vnáší možnou chybu, ale chybu s kladnou polaritou, která v nejhorším případě pouze vytvoří v celkovém dimenzování malou rezervu. Na reálnou spotřebu budovy navíc mají zásadní vliv chování a návyky obyvatel jako je například větrání, teplota, na kterou je budova vytápěná a doba po kterou je tato „denní teplota“ udržována. Bez zohlednění jak těchto faktorů, tak podlahové plochy, geometrie a prosklení jednotlivých budov a také bez určení toho které konkrétní budovy byly postaveny podle kterého standardu by se jednalo pouze o snahu provést přesnější výpočet s potenciálně značně nepřesnými čísly, navíc na relativně malém vzorku pouhých šestnácti domů ze 101 domácností v obci.

Protože potřebuji vzít v úvahu jak přibližné stáří budovy, tak její velikost, použiji tabulku *Měrné tepelné ztráty objektů* [92] (jejíž relevantní část je uvedena níže) převzatou serverem Tzb-info z publikace *Výpočtové tabulky pro vytápění*.

Typ	Druh a velikost objektu s vnitřní teplotou $t_i = 20\text{ °C}$	t_e [°C]	Objekt volně stojící					Objekt vestavěn				
			Období výstavby					Období výstavby				
			A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
		1960	1978	1992	1994	>2000	1960	1978	1992	1994	>2000	
1.	Jednopodlažní podsklepený, bez půdy, lehký materiál do 1000 m ³	-12	50	48	38	35	32,5	43	41	33	31	28
		-15	57	54	43	40	37	50	48	38	35	32,5
		-18	65	62	49	46	42	57	54	43	40	37
2.	Dvoupodlažní rodinný domek. Dílenský provoz z keram. materiálu do 1000 m ³	-12	43	41	33	31	28	38	36	29	27	25
		-15	50	48	38	35	32,5	44	42	33	31	27
		-18	57	54	43	40	37	50	48	38	35	32,5

Tabulka 8: Měrné tepelné ztráty objektů, hodnota W/m³

4.1.2 Náhradní dům staré zástavby (do roku 2005)

Bc. Kováč ve své práci (viz. bod 2.4.1.) popisuje průměrnou budovu v obci jako postavenou před rokem 1980 s průměrným vytápěným prostorem 224 m³, plochou obytného prostoru 80 m² a výškou stropu 2,8 m. [93] Budu tedy za typickou budovu staré zástavby považovat budovu o objemu 224 m³

postavenou v roce 1978, volně stojící a jednopodlažní. Zbývá už jen stanovit venkovní výpočtovou teplotu t_e . Pro tu použiji tabulkovou hodnotu blízkého města Jihlava, která činí -15 °C [94]. Získávám tedy následující výpočet:

$$P_{star} = 48 \frac{W}{m^3} * 224m^3 = 10\,752\,W \cong 11\,kW$$

Tato hodnota představuje potřebný tepelný výkon kotle pro vytápění během nejchladnější části roku při nepřetržitém provozu během celého dne. Po většinu otopného období bude výkon kotle mimo nejchladnějších několika dnů využíván pouze částečně.

4.1.3 Náhradní dům 2005 až současnost

V souladu s bodem 2.4.1. stanovím jako náhradní dům pro období 2005 až 2013 budovu o podlahové ploše $150\,m^2$. Výšku stropu uvažuji 2,6 metru, tedy objem budovy stanovuji na $390\,m^3$, budova je dvoupodlažní, postavená po roce 2000. Získávám tedy následující výpočet.

$$P_{nov1} = 32,5 \frac{W}{m^3} * 390m^3 = 12\,675\,W \cong 13\,kW$$

4.1.4 Náhradní dům budoucí výstavby (2020+)

Vzhledem k rostoucímu trendu počtu obyvatel a obydlených domů v obci (viz. bod 2.4.1.) a vzhledem k tomu, že územní plán obce [95] počítá s dalším rozvojem obce a novou bytovou výstavbou, je třeba vzít v úvahu i s tím spojený nárůst energetických potřeb obce. Standard platný od roku 2013 bohužel již neumožňuje prostý odečet z tabulky, protože není stanoven konkrétní hodnotou a splnění požadavku se posuzuje porovnáním s tzv. referenční budovou. Musím tedy provést odhad.

Pro novostavby od 1. ledna 2020 nabývá v praxi roční spotřeba hodnot $30\text{--}70\,kWh/m^2$. [96] Pokud z tohoto intervalu budu uvažovat střední hodnotu $50\,kWh/m^2$ pro měrnou roční spotřebu a předpokládat přímou úměrnost mezi roční spotřebou a měrnou tepelnou ztrátou, mohu v kombinaci s hodnotou měrné roční spotřeby budovu postavené do roku 2013 získat odhad poměru mezi měrnými tepelnými ztrátami.

$$P'_{nov2} = \frac{\text{spotřeba po roce 2019}}{\text{spotřeba před rokem 2013}} * P_{nov1} = \frac{50}{92} * 12,675 \cong 7\,kW$$

Tato hodnota odpovídá rozsahu výkonu zdroje pro současnou novostavbu o podlahové ploše $150\,m^2$ 5 - 8kW poskytnutému panem inženýrem Zdeňkem Lyčkou, soudním znalcem pro kotle a tuhá paliva,

kteřý mi poskytl emailovou konzultaci, za kterou mu tímto děkuji. Konstatuji tedy, že ač se jedná o hrubý odhad provedený na základě orientačních hodnot, je pravděpodobné, že je relativně spolehlivý.

4.1.5 Stanovení distribuční sazby

Při vytápění elektrickým zdrojem se nabízí možnost využití dvoutarifové sazby, která (pod podmínkou blokace spotřebiče mimo platnost nízkého tarifu) umožňuje po část dne odběr elektrické energie za nižší jednotkovou cenu. Pro nové přiznání sazby zákazníkovi, který využívá elektřinu k vytápění, jsou dnes k dispozici sazby D25d, D26d a D57d. Sazby D25d a D26d jsou určeny zákazníkům, kteří využívají elektrický akumulací spotřebič a umožňují čerpání za zvýhodněnou cenu v tzv. nízkém tarifu po dobu osmi hodin denně. Po zbývajících šestnáct hodin, během kterých platí vysoký tarif, musí být spotřebiče blokovány. Důsledkem tohoto požadavku by vznikla nutnost instalované výkony kotlů navýšit až na trojnásobek vypočtené hodnoty (pro pokrytí spotřeby tepla během nejchladnějších dnů v roce), aby bylo možné za osmihodinovou dobu platnosti nízkého tarifu naakumulovat do nádrže dostatečné množství tepla na zbylých šestnáct hodin. Předpokládám tedy, že by majitelé domů dospěli k rozhodnutí instalovat akumulací kotel v kombinaci s přiměřeným výkonem elektrických přímotopů, čímž by splnili podmínky pro přiznání sazby D57d, která vyžaduje hybridní vytápění elektřinou (tedy kombinaci přímotopných a akumulací prvků), čímž by dosáhli na 20 hodin nízkého tarifu denně. [97] Jako cenu výchozí cenu elektřiny v nízkém tarifu pro rok 2021 tedy stanovím cenu dle sazby D57d v základním ceníku E.ON distribuce, do které obec spadá, která činí 3202,57 Kč za MWh včetně DPH. [98]

4.1.6 Prognóza cen elektřiny

Vzhledem k průměrnému emisnímu faktoru České energetiky 0,52 t/MWh el. [99] bude hrát významnou roli ve vývoji cen budoucí cena emisní povolenky. Současně vzhledem k dalšímu zpřísnování systému EU ETS v podobně zrychleného tempa poklesu objemu vydávaných povolenek a posílení mechanismu Market Stability Reserve cílícího na omezení možnosti vzniku přebytku povolenek na trhu lze předpokládat dlouhodobý růst jejich tržní ceny, což bude vytvářet tlak na zvyšování cen elektřiny. [100]

Rovněž plány odstavování uhelných bloků [101] nenahrávají vzniku přebytku elektřiny na trhu a případnému poklesu cen. Ve výpočtech se tedy přikloním k 3 % ročnímu růstu nákupní ceny elektřiny, tedy 1 % nad dlouhodobý inflační cíl ČNB [102].

4.1.7 Příklad možného uspořádání

Pro naplnění podmínek sazby D57d tedy budu hledat vhodnou kombinaci akumulací elektroketle a elektrických topidel. Protože domácnosti v obci jsou vybaveny klasickým teplovodním topením s nástěnnými otopnými tělesy, je logické, aby primárním zdrojem tepla byl právě akumulací elektroketel, čímž nevznikne nutnost existující otopná tělesa nahrazovat. Pro zajištění komfortu a dostupnosti dostatečného množství teplé vody pro jiné užívání během dne rovněž předpokládám, že

by obyvatelé domů zvolili konfiguraci kotle spojeného s izolovaným zásobníkem teplé vody. Abych respektoval „chybějící“ 4 hodiny platnosti vysokého tarifu, po jejichž platnost musí být akumulační kotel blokován, budu cílit souhrnný výkon akumulační a přímotopné části na 120 % vypočteného.

Pro domy staré zástavby jako příklad konfigurace navrhuji kombinaci 9 kW elektrického akumulačního kotle a elektrických topidel o souhrnném výkonu 4 kW. Vyhledáváním v nabídkách e-shopů zaměřených na vytápění jsem došel k závěru, že pořizovací cena odpovídajícího 9 kW kotle v kombinaci se zásobníkem na 116 litrů teplé vody je 28 000 Kč [103], a pořizovací cena 1 kW nástěnného elektrického topidla je cca 2 000 Kč [104]. Souhrnná cena vybavení by tedy činila 36 000 Kč, což pro zahrnutí doplňkového vybavení jako například nový termostat a montáže zaokrouhlím na 40 000 Kč.

Pro domy nové zástavby po roce 2005 navrhuji kombinaci 12 kW elektrického akumulačního kotle a elektrických topidel o souhrnném výkonu 3,6 kW, zaokrouhleno na 4 kW. Pořizovací cena odpovídajícího 12 kW kotle v kombinaci se zásobníkem na 120 litrů teplé vody je (překvapivě pouze) 27 000 Kč. [105] Nástěnná elektrická topidla uvažuji totožná v ceně 2 000 Kč za 1 kW jednotku. Vzhledem k malému rozdílu cen opět zaokrouhlím na 40 000 Kč.

Pro domy budoucí výstavby navrhuji jako příklad konfigurace elektrický akumulační kotel o výkonu 6 kW v orientační ceně 15 000 Kč [106], nepřímotopný zásobník teplé vody o objemu 120 litrů v ceně 10 000 Kč [107] a nástěnná elektrická topidla o souhrnném výkonu 2,4 kW, zaokrouhleno na 3 kW, v ceně 2000 Kč za 1 kW jednotku. Souhrnná cena vybavení je tedy 31 000 Kč, opět přičtu 4 000 Kč pro cenu dopravy a doplňkového vybavení, výslednou cenou je tedy 35 000 Kč.

4.2 Společná část variant – vstupy ekonomického modelu

4.2.1 Větrná elektrárna

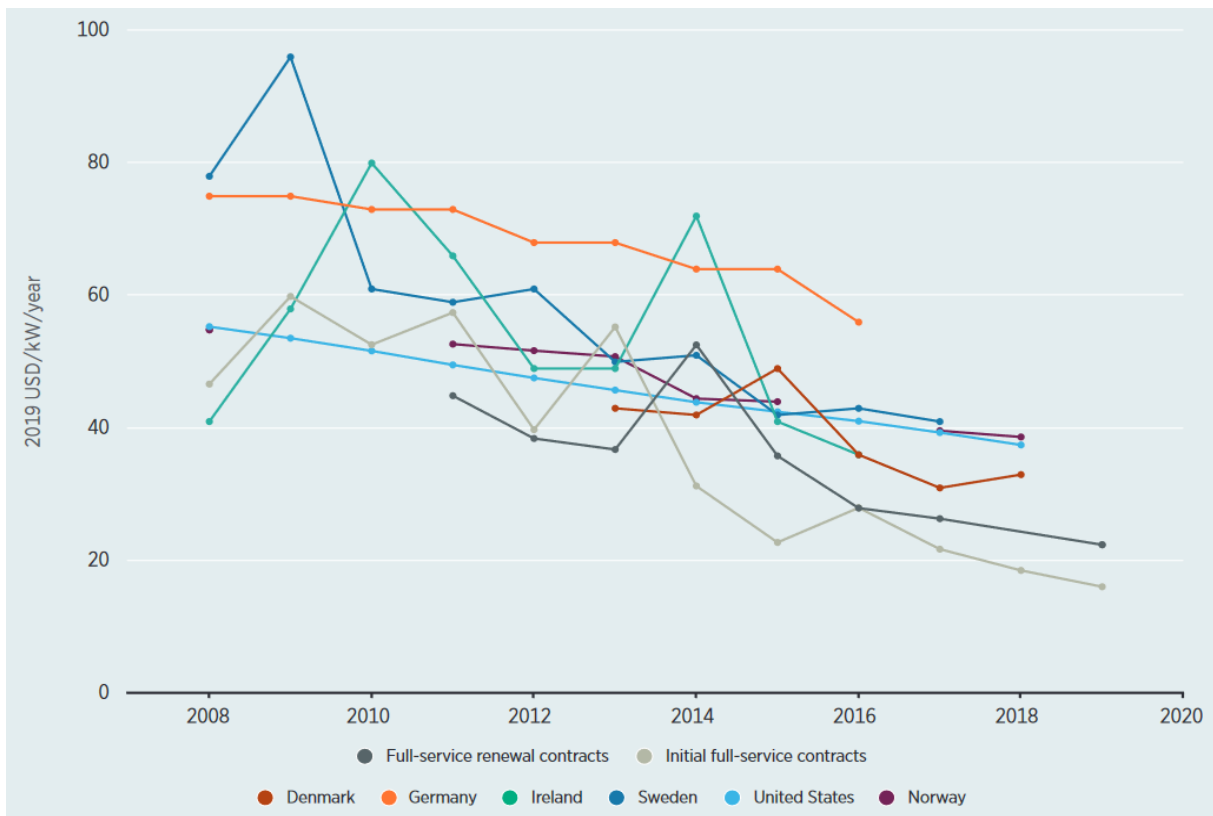
4.2.1.1 Pořizovací cena

Vzhledem k tomu, že u velkých větrných elektráren hrají vysokou roli v konečné ceně výdaje spojené s přepravou a stavbou a vzhledem k tomu, že se mi nepodařilo dohledat v dokumentaci firmy Enercon ceny turbín, použiji statistické údaje o měrných cenách projektů na kW instalovaného výkonu.

Zpráva Renewable Power Generation Costs in 2019 zveřejněná agenturou IRENA sleduje veličinu Total installed cost, která zahrnuje samotnou turbínu, věž, dopravu a instalaci, jejíž vážený průměr pro Evropský trh činí 38 677 Kč. [108] (Převzeno z USD na základě kurzu ČNB k 5.5. 2021.)

4.2.1.2 Provozní náklady

Zpráva agentury IRENA rovněž uvádí data o nákladech na provoz a údržbu, nicméně jsou v grafické podobě. Převzatý graf je uveden níže. Předpokládám, že značnou část projektů zahrnutých při sběru dat tvořily větrné parky, které jsou tvořené větším počtem totožných turbín a těží z úspor z rozsahu. Použiji tedy vyšší hodnoty z roku 2018 a stanovuji odhad nákladů na provoz a údržbu na 860 Kč na kW instalovaného výkonu. (Převzeno z USD na základě kurzu ČNB k 5.5. 2021.)



Graf 18: Provozní náklady VTE [109]

4.2.1.3 Doba výstavby

Dobu mezi investicí ke konci nultého roku a uvedením elektrárny do provozu stanovují na 3 roky. [110] Investice tedy začne v minus třetím roce, dokončena bude v nultém roce a příjmy budou generovány od prvního roku.

4.2.2 Vedení do obce

Pro stanovení ceny vedení mezi obcí a větrnou elektrárnou použijí údaje z publikace *Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury obcí* zveřejněné v roce 2019 Ústavem územního rozvoje. Publikace má sloužit orgánům obcí jako podklad pro tvorbu rozpočtu a poskytuje průměrné a orientační ceny bez DPH v cenové hladině roku 2019. Pro kabelové vedení 3x 95 až 150 mm² na napěťové hladině 22 kV v nezastavěném území uvádí dokument cenu 2 615 Kč za běžný metr (bez DPH). [111] Pro odhadovanou délku vedení 1000 metrů tedy počítám s cenou 2 615 000 Kč bez DPH.

4.2.3 Transformátory

4.2.3.1 Pořizovací cena

Publikace *Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury obcí* rovněž uvádí průměrné pořizovací ceny distribučních transformátorů, a to do zdánlivého výkonu 1 000 kVA. Vzhledem k tomu, že distribuční transformátory o potřebném zdánlivém výkonu 2 350 kVA se běžně nevyrábějí, budu počítat s instalací příslušného počtu paralelně zapojených transformátorů o zdánlivém výkonu 630 kVA o jednotkové ceně 300 000 Kč (bez DPH). [112]

4.2.3.2 Provozní náklady

Rešerší provozních nákladů transformátorů jsem došel k závěru, že většina dostupných materiálů se zabývá výhradně oceněním a optimalizací ztrát. Náklady na údržbu jsou oproti těmto ztrátám (které v jsou níže postihnuty koeficientem ztrát při modelování výroby a akumulace) zanedbatelné a výrobci je ani neuvádějí a deklarují nové transformátory jako bezúdržbové. Jediný zdroj, který se mi podařilo dohledat který postihuje náklady na údržbu se zabývá náklady životního cyklu transformoven na hladinách 110 a 220 kV a pro transformovny s izolací vzduchem uvádí náklady na údržbu transformátoru 0,6 % investice každé dva roky a na údržbu ostatního zařízení 0,1 % každých šest let. Hodnotu tedy zaokrouhlím na 0,3 % investice každý rok.

4.2.4 Úhrada nákladů na distribuci

Protože všechny varianty počítají s rozvodem vyrobené energie po existujícím vedení distributora v obci, je nutné vyčíslit úhradu distributorovi za tím vyvolané náklady. Pro jejich odhad vyjdu z cen zajišťování distribuce elektřiny v sazbě D02d [113].

Pro třífázová připojení nad 3x63 ampérů uvádí cenové rozhodnutí v distribuci EG.D platbu 4,17 Kč za ampér. Předpokládám tedy souměrné zatížení fází (navrhované kotle jsou napájené třífázově) a z instalovaného výkonu elektrárny stanovím maximální proud jedné fáze. Fixní složka ceny za distribuci tedy bude činit součin těchto hodnot za měsíc, respektive dvanáctinásobek výsledné hodnoty za rok. Sazba za distribuované množství elektřiny činí 1 814,77 Kč za MWh.

4.2.5 Úhrada nákladů na rezervovaný výkon

Výši podílu žadatele na oprávněných nákladech při zajištění požadovaného výkonu stanovuje vyhláška 16/2016 Sb. v příloze č.8 měrnými hodnotami [114]. Vzhledem k tomu, že součástí projektu je v obou variantách transformace na napěťovou hladinu 22 kV před přivedením výkonu do obce, použiji hodnotu pro připojení k distribuční soustavě na napěťové hladině VN, která činí 640 000 Kč za MW výkonu, tedy 1 504 000 Kč celkem pro elektrárnu E-92 a 1 920 000 Kč pro elektrárnu E-115 EP3.

4.2.6 Výkupní cena elektřiny

Pokud by byla elektrárna hypoteticky uvedena do provozu do konce letošního roku (2021), vztahovala by se na ní podpora formou výkupních cen. Problematické nicméně je, že v současné době je v legislativním procesu již novela zákona o podporovaných zdrojích energie, která po vstupu v platnost bude způsob podpory obnovitelných zdrojů měnit. Tato novela nesoucí označení Sněmovní tisk 870 prošla v Poslanecké Sněmovně třetím čtením a nyní (srpen roku 2021) čeká na projednání v Senátu. [115] Toto komplikuje ekonomické výpočty, protože není jisté, zda bude nakonec novela schválena ve své současné podobě a jakým způsobem bude příslušnými orgány státní správy vykládán obsah. Nezbyvá mi než se řídit její současnou podobou v posledním zveřejněném znění a příloženou důvodovou zprávou, která vysvětluje záměr a fungování této novely podstatně lépe než holý text návrhu.

Zásadní změnou, kterou novela pro obnovitelné zdroje elektřiny přinese, je zavedení povinnosti výši podpory soutěžit. Pro větrné elektrárny nicméně tato povinnost platí až od instalovaného výkonu nad 6 MW, případně pro větrný park nad 6 instalovaných větrných elektráren bez ohledu na výkon. Pro všechny zkoumané varianty v této práci se instalovaný výkon nachází pod tímto limitem a výši podpory tedy nebude nutné soutěžit. Provozní podpora větrných elektráren bude realizována formou hodinového zeleného bonusu vypočteného z tzv. referenční ceny tím způsobem, že výše zeleného bonusu se bude rovnat rozdílu mezi hodinovou tržní cenou elektřiny a výší referenční ceny. [116]

Pojem referenční cena se dále dělí na tzv. referenční aukční cenu pro zdroje, jejichž provozovatelé budou její výši nabízet v aukci a referenční výkupní cenu, která bude stanovena úředně pro menší zdroje. [117]

Výši referenční výkupní ceny stanoví pro nepalivové zdroje elektřiny uvedené do provozu vždy za následující kalendářní rok Energetický regulační úřad a tuto referenční výkupní cenu bude pro tyto zdroje každoročně navyšovat o 2 %. [118]

Vzhledem k tomu, že je nejasné, v jaké podobě bude nakonec novela schválena, rozhodl jsem se při odhadu úředně stanovené referenční výkupní ceny vyjít ze současné (a od roku 2017 neměnné) výše výkupní ceny na základě stávající právní úpravy, která činí 1 930 Kč/MWh [119]. Následně provedu na výši referenční výkupní ceny citlivostní analýzu.

Dokument *Teze vyhlášky o zajištění přiměřenosti poskytované podpory*, který je součástí sněmovního tisku, dále popisuje náležitosti při kombinování provozní a investiční podpory a odkazuje čtenáře na postup uváděný v cenových rozhodnutích Energetického regulačního úřadu od roku 2016. Použiji tedy postup uvedený v cenovém rozhodnutí pro rok 2021, na základě kterého, vzhledem k výši investiční podpory aplikuji v modelu snížení referenční výkupní ceny o 28 % (tedy na 1 389,6 Kč/MWh). [120]

V tuto chvíli nelze vyloučit, že se obsah novely zákona a prováděcího předpisu změní, ať už pouze v parametrech či i v principech vyplácení podpory, nicméně tyto případné změny nelze předjímat, ani stanovit pravděpodobnost, že k takovým změnám dojde.

4.2.7 Odpisy

Ekonomický model je pro všechny varianty vypočten jak s rovnoměrnými, tak zrychlenými odpisy dle zákona č. 586/1992 Sb. [121] Daňové odpisy počítám po dobu dvaceti let dle čtvrté odpisové skupiny (stavby elektráren – díla energetická výrobní).

4.2.8 Stanovení výše diskontu

Vzhledem k vysokým investičním výdajům daleko mimo možnosti vlastního financování obce je třeba zohlednit jak výnos vlastního kapitálu obce, tak odhadnout očekávanou úrokovou sazbu úvěru. Jako bezpečnou alternativní investici uvažuji České státní dvacetileté dluhopisy, jejichž průměrný za výnos během posledního měsíce činil dle burzovních dat [122] 2,287 %.

Úrokovou sazbu úvěru stanovuji dle Měnové statistiky [123] pro květen 2021 na 1,84 % (kategorie úvěry nefinančním podnikům nad 30 milionů).

Z těchto hodnot následně stanovím vážený průměr nákladu kapitálu dle poměru vlastního a cizího financování pomocí vzorce:

$$WACC = r_e * \frac{E}{E + D} + r_d * \frac{D}{E + D} * (1 - \tau)$$

4.2.9 Eskalace provozních výdajů

Eskalaci provozních výdajů v modelu uvažuji dle metodiky ERÚ pro stanovení výkupních cen a zelených bonusů ve výši 2 %. [124]

4.2.10 Příjmy obce

Jako příjmy obce do výkazu cashflow zahrnuji prodeje přebytků výroby v režimu výkupních cen, úsporu na straně obce vzniklou spotřebou vlastní elektřiny z obnovitelného zdroje místo jejího nákupu za tržní cenu a platby obyvatel za spotřebovanou elektřinu z větrné elektrárny. Výše plateb je v modelu proměnná a minimální cena prodeje obyvatelům pro dosažení nulové čisté současné hodnoty investice bude výstupem pro posuzování variant.

4.2.11 Snížení dotace o alternativní investici

V souladu s Podmínkami pro poskytnutí podpory v programu RES+ musím do výpočtu zahrnout odečtení tzv. alternativní investice od způsobilých výdajů. Procentní intenzita dotace 60 % je následně aplikována až na částku po odečtení této alternativní investice. Dle Podmínek je pro projekty s instalovaným výkonem nad 1 MW alternativní investice vyčíslena jako náklady na pořízení dieselového zdroje o výkonu odpovídajícího kapacitě nového obnovitelného zdroje. [125] Koeficient využití dieselového zdroje bude pro účely výpočtu pravděpodobně stanoven na 95 % [126].

Dohledal jsem tedy prodejce dieselových generátorů na českém trhu, který dodává elektrocentrály Europower EP600TDE konstruované na trvalý výkon 503 kW v ceně 2 507 000 Kč včetně DPH i nákladů na dopravu [127]. Očekávané roční výrobě elektrárny E-92 odpovídá pořízení dvou těchto elektrocentrál dle výpočtu:

$$\text{počet jednotek} = \frac{\text{roční výroba}}{8766 * 0,95 * \text{výkon dieselového zdroje}}$$

Hodnota alternativní investice tedy je 5 014 000 Kč. Dle stejného výpočtu určuji jako alternativní investici elektrárně E-115 E3 pořízení tří těchto elektrocentrál a alternativní investici oceňuji na 7 521 000 Kč. Je důležité pro srozumitelnost zdůraznit, že se jedná o alternativní investici pouze za účelem výpočtu výše dotace, resp. pro stanovení rozdílu mezi investicí do podporovaného zdroje a do konvenčního zdroje a že se nejedná o alternativní investici ve smyslu ekonomického posouzení projektu.

4.2.12 Hraniční cena odběru pro obyvatele

Protože projekt předpokládá odběr vyráběné elektřiny obyvateli obce, je nutné stanovit maximální cenu pro kterou lze předpokládat, že budou obyvatelé obce považovat účast za výhodnou. Obec není plynofikována a zachování lokálních topenišť bez certifikace o splnění emisních limitů je legislativně nepřípustné, tedy nejlogičtější přímou alternativou pro elektrický kotel a odběr ze sítě či elektrický kotel a odběr z větrné elektrárny je kotel peletkový. Portál Ceny Energie uvádí pro letošní rok jako průměrnou cenu peletek hodnotu 1 640 Kč/MWh. Po očištění o DPH činí tato cena jako vstup modelu 1 355 Kč/MWh. Nad tuto hodnotu budu předpokládat, že by se značná část obyvatel rozhodla elektrický kotel neinstalovat a projektu se neúčastnit.

4.3 Varianta centrální akumulace

4.3.1 Popis varianty

V této variantě je elektřina vyvedená z elektrárny přes transformátor a kabelové vedení a je akumulována do centrálního bateriového úložiště na okraji obce. Akumulovaná elektřina je následně rozvedena odběratelům v obci po existujícím vedení distributora. Souběhu spotřeby a dodávky z akumulace bude dosaženo pomocí lokálního HDO.

4.3.2 Ztráty

Vstupem ekonomického modelu jsou objemy dodávek pro potřeby obce a prodeje přebytků do sítě získané z modelu akumulace. Ke zjištění těchto hodnot je nutné očistit výrobu o ztráty. Ztráty jsem pro funkčnost modelu rozdělil do několika úseků podle místa vzniku.

4.3.2.1 Elektrárna – měnič

Vzhledem k tomu, že jsem se rozhodl využít napěťové hladiny 22 kV, což značně snižuje Joulovy ztráty ve vodiči a vzhledem ke krátké vzdálenosti přenosu, budou dominantní složkou ztrát ztráty transformátoru. Abych získal pro výpočet potřebné hodnoty ztrát naprázdno a nakrátko, vyhledal jsem katalog firmy TrafoCZ [128], která vyrábí transformátory potřebných zdánlivých výkonů a která tyto parametry veřejně uvádí. Uvažuji celoroční provoz, doba připojení tedy nabývá 8 760 hodin. Ztráty transformátoru vypočtu dle následujícího vztahu, kde P_0 je ztrátový výkon naprázdno, P_{kn} je ztrátový výkon nakrátko, S_{max} je maximální zatížení během roku, S_n je štítkový zdánlivý výkon transformátoru a T_z je doba plných ztrát.

$$W_z = 8760 * P_0 + P_{kn} \left(\frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 * T_z$$

$$T_z = \frac{1}{P_{max}^2} * \sum_0^T P_t^2$$

Dosažení hodnot a výpočet pro jednotlivé varianty elektráren jsou provedené v příložených modelech akumulace. Pro model elektrárny E-53 uvažuji jeden transformátor o zdánlivém výkonu 1 000 MVA s parametry P_0 o hodnotě 1,55 kW a P_{kn} o hodnotě 9 kW. Pro model elektrárny E-92 uvažuji čtyři transformátory o zdánlivém výkonu 630 MVA s parametry P_0 o hodnotě 1,1 kW (každý) a P_{kn} o hodnotě 7,6 kW (každý). Pro model elektrárny E-115 uvažuji tři transformátory o zdánlivém výkonu 1 000 MVA s parametry P_0 o hodnotě 1,55 kW (každý) a P_{kn} o hodnotě 9 kW (každý).

Pro stanovení ztrát ve vedení vyjde rovněž z hodnoty doby plných ztrát. Ztrátový výkon v maximu zatížení vedení je stanoven podle instalovaného výkonu příslušné elektrárny a odporu vedení. Pro určení parametrů vodiče jsem převzal hodnoty z katalogu výrobce kabelů Labara Cables pro vodič 22-CXEKVCEY [129] v provedení 1x35/16. Vodič je při uložení do země zatížitelný až 170 ampéry, tedy je dostatečný pro všechny zvažované elektrárny. Odpor jádra je 0,524 Ω/km. Tím získám následující výpočet. Délka vedení je přibližně 1 km.

$$W_z = T_z * P_{zm}$$

Dosazení a výpočet jsou opět provedeny v příložených modelech MS Excel.

4.3.2.2 Ztráty akumulace – nabíjení

V souladu s tabulkou 1 stanovuji ztrátu na 1 %.

4.3.2.3 Ztráty akumulace - odběr

V souladu s tabulkou 1 stanovuji ztrátu na 1 %.

Ztráty vytápění a rozvodu

Pro elektrické akumulární kotle uvedené v bodu 4.1.6. uvádí výrobce ztrátu 0,5 %. Ztráty v otopné soustavě neuvažuji, protože u rodinného domu se celá soustava včetně kotle a zásobníku teplé vody nachází uvnitř budovy a teplo které ze systému unikne a není předáno topnými tělesy v budově stále působí jako tepelný zisk.

Určit ztráty distribuční soustavy v obci je velmi problematické. Neznám její uspořádání ani kvalitu a parametry prvků. Nejlepším zdrojem pro kvalifikovaný odhad, který se mi podařilo dohledat je Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR, která uvádí v distribuční soustavě celkové ztráty 4,6 %. [130]

Souhrnnou ztrátu vytápění a rozvodu tedy stanovuji na 5,1 %.

4.3.3 Investiční výdaje

4.3.3.1 Akumulační část a měniče

Tato varianta je založená na akumulaci nespotřebované vyrobené energie z větrné elektrárny do centrálního bateriového úložiště na území obce. Aby bylo možné tuto část projektu financovat z dotace, je třeba splnit několik podmínek (viz. bod 2.4.2.2):

- Využití baterií na bázi olova či niklu není povoleno.
- Není povolený nákup použitého vybavení, což vylučuje použití cenově dostupnější repasovaných baterií second-life.
- Využitelná kapacita akumulace musí být v rozsahu 20 % až 100 % teoretického hodinového maxima výroby. Z toho rovněž plyne potřeba toho, aby úložiště bylo schopné nabíjení alespoň rychlostí 1 C (nabití na plnou kapacitu za dobu jedné hodiny) pro případy kdy dojde k souběhu nulového či minimálního odběru a plného výkonu elektrárny.
- Úložiště smí sloužit pouze k akumulaci elektrické energie vyrobené přidruženou větrnou elektrárnou, není možné akumulovat energii ze soustavy či poskytovat podpůrné služby sítě. [131]

Provedl jsem rešerši v databázi webu pv-magazine.com, který mimo jiné zveřejňuje přehled trhu s průmyslovými bateriovými akumulačními systémy nad 30 kWh. Hledal jsem takový, který by splňoval výše uvedené podmínky, u něhož jsou uvedeny indikativní ceny na kWh využitelné kapacity a jehož výrobce dodává do zemí EU. Těmto požadavkům odpovídá nabídka Německé firmy Smart Power GmbH, která deklaruje řešení na míru dle požadavků potřeb zákazníka, rychlost nabíjení a vybíjení až 2 C, funkčnost zvýšení využití vlastní produkce energie z obnovitelných zdrojů a indikativní cenu pro projekty nad 1 MWh do 15 480 Kč za kWh využitelné kapacity. (Údaje jsou aktuální k únoru 2021. [132] Cena převedena dle kurzu ČNB k 5.5. 2021.) Na základě informací uvedených na webu výrobce mám za to, že projekty jsou realizovány tzv. „na klíč“ a to včetně potřebných měničů, které výrobce výslovně uvádí, jako součást akumulačního systému. Předpokládám tedy, že měniče jakož i potřebné práce k napojení na zbytek systému a na síť distributora v obci jsou součástí indikované ceny a souhrnnou cenu bateriového úložiště s měniči stanovuji na 36 378 000 Kč bez DPH.

4.3.3.2 Pozemky

Pro podzemní kabelové vedení nebude nutné pozemky vykupovat, postačí zajistit věcné břemeno. Pro jeho cenu se mi nepodařilo dohledat zdroj, protože je sjednáváno pro každý případ individuálně a jeho výše je smluvní. Proto jej oceňuji po konzultaci s vedoucím práce odhadovanou hodnotou 200 Kč za metr délky vedení. Pro vedení o délce 1000 metrů tedy bude výdaj na zřízení věcného břemene 200 000 Kč.

Pro stanovení měrné ceny pozemků vycházím z údajů portálu Cenová mapa půdy [133], který uvádí cenu zemědělské půdy v lokalitě od 19 do 27 Kč za m². Střední hodnotou intervalu je 23 Kč. Nicméně tím že je na místě plánována stavba větrné elektrárny je nevyhnutelně posílena vyjednávací pozice

majitele pozemku, který by se mohl rozhodnout za tržní cenu zemědělské půdy pozemek odmítnout prodat. Proto jsem se rozhodl ve výpočtu uvažovat cenu 100 Kč za metr čtvereční, abych vytvořil rezervu pro tuto eventualitu.

Dle paragrafu 46 zákona č. 458/2000 Sb bod 7 je ochranné pásmo výroby stanovené do vzdálenosti 20 metrů od oplocení. Větrná elektrárna ovšem oplocení nemá, odhadnu tedy potřebný výkup pozemku na čtverec 100x100 metrů, tedy na jeden hektar, čímž bude plocha ve vlastnictví obce pod elektrárnou přesahovat okraje rotoru a vznikne i potřebná rezerva na stavbu transformovny u samotné elektrárny.

Plochu potřebnou pro umístění akumulární části odhaduji (dle velikosti standardizovaných 40 stop dlouhých přepravních kontejnerů používaných výrobcem) na 20x25 metrů, tedy 500 metrů čtverečních. Získám tedy výslednou cenu vykoupených pozemků 1 050 000 Kč.

Souhrnné výdaje na zajištění pozemků tedy odhaduji na 1 250 000 Kč.

4.3.4 Provozní výdaje

4.3.4.1 Provozní výdaje akumulace

Výrobce na svých stránkách měrné provozní náklady nedeklaruje, ani se mi nepodařilo dohledat indikativní hodnoty. Provedu tedy odhad na základě hodnot, které k dispozici mám. Výrobce deklaruje degradaci kapacity úložiště přibližně 1 % ročně. [134] Výrobce rovněž uvádí, že konstrukce úložišť je modulární a umožňuje snadnou výměnu článků a opravy měničů. Investiční výdaj na pořízení akumulární části jsem stanovil pomocí indikativních cen projektu vztažených na jednotku kapacity. Vyčísím tedy náklady na údržbu a udržení kapacity jako jedno procento původní investice každý rok.

4.3.5 Výstupy modelu

4.3.5.1 Elektrárna E-92 – rovnoměrné odpisy

Vzhledem k tomu, že jsem kvůli změnám legislativy popsaným v bodě 4.2.6. nucen zabývat se jak rozdílnými hodnotami prodejní ceny pro obyvatele, tak rozdílnými hodnotami prodejní ceny přebytků odváděných do sítě, znázorním výstupy do dvou tabulek. První tabulka uvádí na svislé ose možné hodnoty prodejní ceny elektřiny pro obyvatele obce v Kč/MWh a na vodorovné ose uvádí instalovanou kapacitu akumulace v MWh (která se v modelu projeví primárně změnou výše investičních výdajů) a to za předpokladu prodejní ceny přebytků ve výši 1 389,6 Kč/MWh, respektive za předpokladu že nová legislativa tuto již 5 let konstantní cenu nebude měnit.

		kapacita akumulace v MWh								
		0.47	0.705	0.94	1.175	1.41	1.645	1.88	2.115	2.35
c e n a e l e k t ř i n y v K č / M W h	500	-36 186	-40 198	-44 194	-48 172	-52 092	-56 000	-59 887	-63 762	-67 645
	550	-32 991	-36 980	-40 961	-44 923	-48 830	-52 725	-56 599	-60 462	-64 332
	600	-29 928	-33 842	-37 742	-41 674	-45 567	-49 449	-53 311	-57 162	-61 020
	650	-26 873	-30 773	-34 658	-38 524	-42 342	-46 174	-50 023	-53 862	-57 707
	700	-23 819	-27 704	-31 575	-35 425	-39 230	-43 025	-46 802	-50 570	-54 394
	750	-20 764	-24 635	-28 491	-32 326	-36 118	-39 901	-43 667	-47 422	-51 181
	800	-17 710	-21 565	-25 407	-29 227	-33 007	-36 777	-40 531	-44 275	-48 022
	850	-14 655	-18 496	-22 324	-26 128	-29 895	-33 653	-37 395	-41 128	-44 862
	900	-11 601	-15 427	-19 240	-23 030	-26 783	-30 529	-34 259	-37 981	-41 703
	950	-8 547	-12 358	-16 156	-19 931	-23 672	-27 405	-31 124	-34 833	-38 543
	1000	-5 492	-9 289	-13 073	-16 832	-20 560	-24 281	-27 988	-31 686	-35 384
	1050	-2 445	-6 220	-9 989	-13 733	-17 448	-21 157	-24 852	-28 539	-32 224
	1100	590	-3 150	-6 905	-10 634	-14 337	-18 033	-21 716	-25 392	-29 065
	1150	3 626	-98	-3 822	-7 535	-11 225	-14 909	-18 581	-22 244	-25 905
	1200	6 662	2 952	-746	-4 436	-8 113	-11 785	-15 445	-19 097	-22 746
	1250	9 697	6 002	2 319	-1 338	-5 002	-8 661	-12 309	-15 950	-19 586
	1300	12 733	9 053	5 383	1 743	-1 890	-5 537	-9 173	-12 803	-16 427
	1350	15 769	12 103	8 448	4 823	1 211	-2 413	-6 038	-9 655	-13 267
	1400	18 793	15 153	11 513	7 903	4 304	709	-2 902	-6 508	-10 108
	1450	21 767	18 192	14 578	10 983	7 397	3 814	234	-3 361	-6 948
1500	24 691	21 182	17 630	14 062	10 489	6 919	3 356	-214	-3 789	
1550	27 569	24 126	20 635	17 128	13 582	10 023	6 472	2 927	-629	
1600	30 408	27 028	23 599	20 149	16 659	13 128	9 589	6 055	2 530	
1650	33 204	29 888	26 519	23 130	19 692	16 215	12 705	9 183	5 670	
1700	35 969	32 715	29 405	26 071	22 687	19 260	15 802	12 311	8 810	
1750	38 698	35 505	32 253	28 977	25 646	22 268	18 856	15 415	11 951	
1800	41 399	38 265	35 071	31 851	28 568	25 243	21 876	18 480	15 063	
1850	44 071	40 997	37 859	34 691	31 461	28 183	24 865	21 512	18 139	
1900	46 716	43 699	40 616	37 503	34 324	31 092	27 823	24 513	21 183	
1950	49 337	46 377	43 348	40 289	37 159	33 974	30 749	27 485	24 197	
2000	51 936	49 031	46 056	43 049	39 967	36 829	33 647	30 428	27 183	

Tabulka 8: Čistá současná hodnota investice v závislosti na prodejní ceně elektřiny obyvatelům obce (svislá osa) a kapacitě instalované akumulace (vodorovná osa). Hodnoty jsou v tisících Kč.

Ze znázornění možných kombinací prodejní ceny elektřiny a instalované kapacity akumulace je zřejmé, že minimální prodejní cena se s rostoucí kapacitou akumulace zvyšuje v důsledku finanční náročnosti investice do akumulačního zařízení. Pro (nejnižší prakticky uvažovatelnou) kapacitu akumulace 0,94 MWh by teoretická minimální cena prodeje byla 1 212 Kč za MWh a celková výše investice by činila 134 995 000 Kč. Pro variantu uprostřed prakticky přípustného intervalu 1645 kWh by tato cena

činila 1 389 Kč za MWh (toto není překlep, hodnota shodou okolností vyšla totožná s výší podpory) při investici 148 160 000 Kč a pro maximální variantu 2 350 kWh minimální cena vystoupá na 1 560 Kč za MWh a investiční výdaje činí 161 366 000 Kč.

Tato druhá tabulka znázorňuje na svislé ose hodnoty prodejní ceny přebytků do sítě (tedy znázorňuje citlivost projektu na případné změny výše podpory v souvislosti s novou legislativou) a na vodorovné ose opět velikost instalované kapacity akumulace, a to za předpokladu prodejní ceny elektřiny pro obyvatele ve výši 1 355 Kč/MWh, kterou jak jsem již popsal v bodě 4.2.12. považuji pro obyvatele za hraniční.

		kapacita akumulace v MWh									
		0.47	0.705	0.94	1.175	1.41	1.645	1.88	2.115	2.35	
c e n a	1000	-26 759	-30 373	-33 978	-37 563	-41 136	-44 707	-48 270	-51 828	-55 382	
	1050	-21 246	-24 870	-28 486	-32 079	-35 660	-39 239	-42 810	-46 375	-49 937	
	1100	-15 734	-19 368	-22 993	-26 594	-30 184	-33 771	-37 350	-40 923	-44 492	
	1150	-10 222	-13 865	-17 500	-21 110	-24 708	-28 303	-31 889	-35 470	-39 046	
	1200	-4 709	-8 363	-12 007	-15 626	-19 232	-22 835	-26 429	-30 017	-33 601	
	1250	803	-2 861	-6 515	-10 142	-13 756	-17 367	-20 969	-24 565	-28 155	
	1300	6 282	2 635	-1 022	-4 658	-8 280	-11 899	-15 509	-19 112	-22 710	
	1350	11 745	8 089	4 443	826	-2 804	-6 431	-10 048	-13 659	-17 264	
	e l e k t ř i n y	1400	17 209	13 542	9 887	6 261	2 650	-963	-4 588	-8 206	-11 819
		1450	22 607	18 989	15 331	11 697	8 077	4 461	855	-2 754	-6 373
		1500	27 867	24 339	20 750	17 132	13 504	9 880	6 267	2 660	-940
		1550	32 964	29 547	26 051	22 513	18 927	15 300	11 678	8 064	4 457
		1600	37 868	34 591	31 209	27 767	24 262	20 698	17 090	13 469	9 854
		1650	42 548	39 439	36 200	32 876	29 469	25 990	22 454	18 870	15 251
		1700	47 171	44 082	40 993	37 815	34 530	31 150	27 702	24 193	20 632
		1750	51 794	48 696	45 610	42 555	39 418	36 162	32 816	29 396	25 912
		1800	56 417	53 311	50 216	47 155	44 106	41 001	37 781	34 466	31 073
		1850	61 040	57 925	54 823	51 754	48 698	45 645	42 571	39 384	36 100
	v K č / M W h	1900	65 662	62 540	59 429	56 354	53 290	50 230	47 181	44 127	40 972
		1950	70 285	67 154	64 035	60 953	57 882	54 816	51 760	48 711	45 669
2000		74 908	71 768	68 642	65 552	62 475	59 401	56 339	53 284	50 237	
2050		79 531	76 383	73 248	70 151	67 067	63 987	60 918	57 857	54 804	
2100		84 154	80 997	77 854	74 750	71 659	68 573	65 497	62 429	59 371	
2150		88 776	85 612	82 460	79 349	76 252	73 158	70 076	67 002	63 937	
2200		93 399	90 226	87 067	83 948	80 844	77 744	74 655	71 575	68 504	
2250		98 022	94 840	91 673	88 547	85 436	82 329	79 234	76 148	73 070	
2300		102 645	99 455	96 279	93 147	90 028	86 915	83 813	80 720	77 637	
2350		107 268	104 069	100 886	97 746	94 621	91 500	88 392	85 293	82 204	
2400	111 890	108 684	105 492	102 345	99 213	96 086	92 971	89 866	86 770		
2450	116 513	113 298	110 098	106 944	103 805	100 671	97 550	94 439	91 337		
2500	121 136	117 912	114 704	111 543	108 398	105 257	102 129	99 011	95 904		

Tabulka 9: Čistá současná hodnota investice v závislosti na prodejní ceně přebytků elektřiny do sítě (svislá osa) a kapacitě instalované akumulace (vodorovná osa). Hodnoty jsou v tisících Kč.

Tato tabulka znázorňuje citlivost čisté současné hodnoty investice na výši referenční výkupní ceny dle budoucí legislativy. Z průběhu pomyslné křivky tvořenou hranicí mezi červenými – zápornými

hodnotami a zelenými – kladnými hodnotami je zřejmá silná závislost investice na provozní podpoře. Změny v řádu desítek korun za MWh odvedené elektřiny by mohly oproti předpokládané hodnotě 1 389,6 Kč/MWh mohou pro libovolnou variantu akumulace vést ke změně investičního rozhodnutí.

4.3.5.2 *Elektrárna E-92 - zrychlené odpisy*

Varianta se zrychlenými odpisy vychází pro všechny kombinace prodejní ceny a kapacity akumulace hůře než varianta rovnoměrného odepisování. Důvodem patrně je, že rozhodující kritérium minimalizace prodejní ceny elektřiny pro obyvatele obce přirozeně tlačí projekt na hranici ziskovosti (namísto toho, aby bylo cílem dosáhnout co nejvyšší čisté současné hodnoty) a projekt tedy pro variantu rovnoměrného odepisování negeneruje účetní zisk až do posledních pěti let životnosti, respektive do ukončení daňového odepisování investice. Varianta se zrychleným odepisováním přirozeně znamená odepisování postupně se snižující částky a projekt tedy dosáhne účetního zisku, a tedy i nutnosti platit daň ze zisku dříve.

4.3.5.3 Elektrárna E-115 EP3 – rovnoměrné odpisy

		kapacita akumulace v MWh								
		0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3
c e n a e l e k t ř i n y v K č / M W h	0	2 545	-2 367	-7 229	-12 152	-16 994	-21 836	-26 709	-31 550	-36 337
	50	5 898	999	-3 852	-8 762	-13 593	-18 425	-23 285	-28 115	-32 892
	100	9 251	4 364	-475	-5 372	-10 192	-15 013	-19 861	-24 680	-29 448
	150	12 604	7 730	2 901	-1 982	-6 792	-11 601	-16 437	-21 244	-26 003
	200	15 956	11 095	6 278	1 408	-3 391	-8 189	-13 013	-17 809	-22 558
	250	19 309	14 461	9 655	4 798	10	-4 777	-9 589	-14 374	-19 113
	300	22 662	17 826	13 032	8 188	3 411	-1 365	-6 165	-10 939	-15 668
	350	26 015	21 192	16 408	11 577	6 812	2 047	-2 741	-7 504	-12 223
	400	29 366	24 557	19 785	14 967	10 212	5 459	683	-4 068	-8 778
	450	32 555	27 922	23 162	18 357	13 613	8 870	4 107	-633	-5 333
	500	35 450	31 288	26 539	21 747	17 014	12 282	7 531	2 802	-1 889
	550	38 315	34 335	29 915	25 137	20 415	15 694	10 955	6 237	1 556
	600	41 180	37 211	33 225	28 527	23 816	19 106	14 379	9 672	5 001
	650	44 045	40 087	36 156	31 900	27 216	22 518	17 803	13 108	8 446
	700	46 910	42 963	39 041	35 040	30 612	25 930	21 227	16 543	11 891
	750	49 775	45 838	41 926	37 987	33 855	29 340	24 651	19 978	15 336
	800	52 640	48 714	44 812	40 884	36 935	32 645	28 075	23 413	18 781
	850	55 505	51 590	47 697	43 780	39 899	35 810	31 423	26 848	22 226
	900	58 370	54 466	50 583	46 677	42 805	38 870	34 650	30 227	25 671
	950	61 235	57 341	53 468	49 574	45 711	41 846	37 781	33 500	29 072
1000	64 100	60 217	56 354	52 470	48 617	44 766	40 835	36 686	32 379	
1050	66 965	63 093	59 239	55 367	51 523	47 682	43 824	39 800	35 609	
1100	69 830	65 969	62 124	58 264	54 429	50 597	46 760	42 852	38 769	
1150	72 695	68 845	65 010	61 160	57 335	53 513	49 686	45 850	41 872	
1200	75 560	71 720	67 895	64 057	60 241	56 428	52 611	48 802	44 923	
1250	78 425	74 596	70 781	66 954	63 147	59 344	55 537	51 737	47 929	
1300	81 290	77 472	73 666	69 850	66 053	62 259	58 463	54 673	50 895	
1350	84 155	80 348	76 551	72 747	68 959	65 174	61 389	57 608	53 839	
1400	87 020	83 223	79 437	75 644	71 864	68 090	64 315	60 544	56 782	
1450	89 885	86 099	82 322	78 540	74 770	71 005	67 240	63 479	59 726	
1500	92 750	88 975	85 208	81 437	77 676	73 921	70 166	66 414	62 670	

Tabulka 10: Čistá současná hodnota investice v závislosti na prodejní ceně elektřiny obyvatelům obce (svíslá osa) a kapacitě instalované akumulace (vodorovná osa). Hodnoty jsou v tisících Kč.

Na výstupu modelu pro variantu s výkonnější elektrárnou E-115 EP3 je zjevný pozitivní dopad vyššího objemu přebytků. Pro minimalistickou variantu akumulace 0,9 MWh s výší investice 165 404 000 Kč vychází minimální prodejní cena pouhých 35 Kč za MWh, tedy prodeje přebytků téměř úplně pokrývají jak investiční a provozní výdaje a elektřinu by bylo možné dodávat za pouze symbolickou (a psychologicky působící) sazbu k omezení plýtvání. I pro největší variantu akumulace o objemu 3 MWh s investičními výdaji 204 739 000 Kč činí minimální prodejní cena pouze 527 Kč za MWh.

		kapacita akumulace v MWh								
		0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3
c e n a e l e k t ř i n y v K č / M W h	500	-78 634	-83 167	-87 690	-92 224	-96 742	-101 259	-105 781	-110 296	-114 802
	550	-68 634	-73 152	-77 669	-82 204	-86 729	-91 253	-95 781	-100 303	-104 815
	600	-58 895	-63 384	-67 862	-72 352	-76 832	-81 321	-85 823	-90 330	-94 835
	650	-49 196	-53 692	-58 178	-62 674	-67 154	-71 632	-76 114	-80 590	-85 056
	700	-39 497	-44 000	-48 493	-52 996	-57 482	-61 967	-66 456	-70 938	-75 410
	750	-29 798	-34 308	-38 808	-43 318	-47 811	-52 303	-56 797	-61 287	-65 765
	800	-20 098	-24 616	-29 123	-33 640	-38 140	-42 638	-47 139	-51 635	-56 119
	850	-10 399	-14 924	-19 438	-23 962	-28 469	-32 973	-37 481	-41 983	-46 473
	900	-722	-5 232	-9 753	-14 284	-18 798	-23 309	-27 823	-32 331	-36 828
	950	8 890	4 384	-112	-4 617	-9 127	-13 644	-18 164	-22 679	-27 182
	1000	18 503	13 989	9 487	4 975	480	-4 012	-8 506	-13 027	-17 536
	1050	27 929	23 542	19 086	14 567	10 065	5 567	1 066	-3 429	-7 912
	1100	36 952	32 767	28 482	24 093	19 646	15 146	10 639	6 137	1 648
	1150	45 461	41 552	37 495	33 299	29 017	24 648	20 202	15 703	11 208
	1200	53 598	49 814	46 029	42 090	38 021	33 835	29 549	25 182	20 754
	1250	61 732	57 942	54 163	50 376	46 575	42 629	38 545	34 352	30 078
	1300	69 865	66 070	62 285	58 492	54 715	50 942	47 117	43 148	39 064
	1350	77 999	74 198	70 407	66 609	62 826	59 047	55 266	51 491	47 652
	1400	86 133	82 326	78 529	74 725	70 936	67 152	63 366	59 585	55 815
	1450	94 267	90 454	86 651	82 841	79 047	75 257	71 466	67 680	63 905
1500	102 401	98 582	94 773	90 957	87 157	83 362	79 565	75 774	71 994	
1550	110 535	106 709	102 895	99 073	95 268	91 467	87 665	83 868	80 083	
1600	118 669	114 837	111 017	107 189	103 378	99 572	95 765	91 963	88 172	
1650	126 802	122 965	119 139	115 305	111 489	107 677	103 864	100 057	96 261	
1700	134 936	131 093	127 261	123 422	119 599	115 782	111 964	108 151	104 350	
1750	143 070	139 221	135 383	131 538	127 710	123 887	120 064	116 246	112 440	
1800	151 204	147 349	143 505	139 654	135 820	131 992	128 164	124 340	120 529	
1850	159 338	155 476	151 627	147 770	143 930	140 097	136 263	132 434	128 618	
1900	167 472	163 604	159 749	155 886	152 041	148 202	144 363	140 529	136 707	
1950	175 606	171 732	167 871	164 002	160 151	156 307	152 463	148 623	144 796	
2000	183 739	179 860	175 993	172 118	168 262	164 412	160 562	156 717	152 885	

Tabulka 11: Čistá současná hodnota investice v závislosti na prodejní ceně přebytků elektřiny do sítě (svíslá osa) a kapacitě instalované akumulace (vodorovná osa). Hodnoty jsou v tisících Kč.

Tato tabulka znázorňuje citlivost čisté současné hodnoty investice na výši referenční výkupní ceny dle budoucí legislativy. V tomto případě je zřejmý relativně veliký prostor pro případný pokles podpory oproti očekávané hodnotě 1389,6 Kč/MWh bez toho, aby výsledkem byla změna rozhodnutí.

4.3.5.4 Elektrárna E-115 EP3 – zrychlené odpisy

Varianta se zrychlenými odpisy vychází pro všechny kombinace prodejní ceny a kapacity akumulace hůře než varianta rovnoměrného odepisování. (Viz. bod 4.3.5.2)

4.4 Varianta decentralizované akumulace

4.4.1 Popis varianty

V této variantě je zachováno jak uspořádání elektrárny, transformátoru a vedení do obce tak i rozvod vyrobené energie po existujícím vedení distributora v obci. Akumulace energie je ovšem prováděna do vlastních bateriových úložišť odběratelů. Tato varianta podstatně snižuje investiční výdaj obce, protože potřebné baterie a měniče jsou v majetku vlastníků nemovitostí a obec jejich pořízení nefinancuje. Kvůli tomu ale rovněž nejsou způsobilé pro čerpání dotace (protože nejsou zahrnuty do výrobního celku elektrárny) a obyvatelé by tedy byli nuceni hradit plnou tržní cenu potřebných zařízení.

4.4.2 Investiční výdaje

4.4.2.1 Měniče a baterie

Stejně jako u varianty centralizované akumulace budou klíčovými prvky pro určení investičních výdajů tento varianty ceny potřebných měničů a potřebných baterií. Provedl jsem rešerši odborných portálů a e-shopů, nicméně jsem nenašel na produkt, u kterého by výrobce výslovně deklaroval potřebné funkce. Většina trhu s domácími měniči a domácími bateriemi je zřejmě zaměřena na kombinaci dodávky ze sítě a vlastního obnovitelného zdroje, tedy solárních panelů přímo na nemovitosti. Kombinace odběru ze sítě a odběru z centralizovaného obnovitelného zdroje, jehož výkon je přiveden po stejném vedení v rámci obce je patrně velmi neobvyklá, a výrobci se na ní nezaměřují a v dokumentaci produktů ji nezmiňují. Dotazy k dodavatelům na to, zda určité vytipované konfigurace měniče a baterií toto umožňují se setkaly buď s mlčením, či s odkazem přímo na zahraniční výrobce s tím, že dodavatel s aplikacemi zahrnujícími větrnou energii nemá zkušenosti. Rozhodl jsem se tedy získat alespoň hrubý odhad pořizovací ceny potřebného zařízení tím, že sám navolím komponenty, které alespoň v principu potřebám projektu odpovídají a následně provedu citlivostní analýzu na cenu investice.

Prvním krokem dimenzování systému je určení potřebné kapacity akumulace dle typu odběratele v obci. Domy v obci jsem již rozdělil na starou a novou zástavbu a určil pro ně roční potřebu tepla a potřebný zdroj vytápění, použiji tedy stejné kategorie i pro tento krok. Nejprve je nutné rozdělit kapacitu akumulace mezi jednotlivé odběratele. Přistoupil jsem k poměrnému rozdělení kapacity dle očekávané roční spotřeby.

	roční spotřeba (MWh)	počet jednotek	podíl akumulace
nové domy	320	16	0.64%
staré domy	2150	77	0.90%
bytovka	136	1	4.37%
nebytové prostory	250	1	8.03%
veřejné osvětlení	17	1	0.55%
rezerva pro růst	240	32	0.24%

Tabulka 12: Rozdělení kapacity akumulace do skupin odběratelů v obci.

Zařízení určeným pro nebytové prostory ve vlastnictví obce a veřejné osvětlení se nebudu podrobněji zabývat, protože by se jednalo o dostatečně velká zařízení pro zakázkovou dodávku a ocenil jsem je stejnými investičními výdaji jako centralizovanou akumulaci. Nicméně v této variantě jsou výdaje vyloučeny z dotace, protože by se již nejednalo a nedílnou součástí zařízení elektrárny, ale o zařízení odběratele v místě spotřeby. Bytový dům ve vlastnictví obce není, nicméně kromě jeho spotřeby nemám k dispozici další informace o něm (zejména instalovaný výkon kotle). Vzhledem k úsporám z rozsahu se ale dá předpokládat, že pokud bude nalezena ekonomicky přijatelná varianta pro rodinné domy v obci, bude taková varianta existovat i pro bytový dům.

Minimální potřebný výkon měniče stanovím jednoduše jako souhrnný výkon topných spotřebičů v domácnosti, tedy 13 kW pro domy staré zástavby a 16 kW pro domy nové zástavby.

4.4.2.1.1 Stanovení pořizovací ceny akumulátorů

Jako reprezentativní příklad možné použité baterie jsem zvolil produkt Pylontech US3000 [135]. Baterie je schopná nabíjení a vybíjení rychlostí 1 C, je výrobcem deklarovaná jako bezúdržbová a určená specificky pro použití s hybridními měniči a umožňuje snadné paralelní zapojení více jednotek pro dosažení požadované celkové kapacity. Na základě její využitelné kapacity 2,88 kWh a prodejní ceny 37 528 Kč (včetně DPH) budu určovat cenu domácí akumulace.

4.4.2.1.2 Stanovení pořizovací ceny měniče

Možnost výběru měniče je značně omezená faktem, že velká část dostupných měničů je určená pro nabíjení baterií ze stejnosměrného vstupu (solární zdroj). Abych mohl měnič použít pro tento projekt, musí splňovat alespoň tyto podmínky:

- být určen pro třífázové použití, nebo schopen společné práce tří jednofázových měničů na třífázové síti
- umožňovat nabíjení baterií ze střídavého (síťového) vstupu
- umožňovat nabíjení baterií výkonem odpovídajícím podílu odběratele na instalovaném výkonu elektrárny
- umožňovat vybíjení baterií výkonem topných spotřebičů

Vzhledem k tomu, že při realizaci projektu by pravděpodobně byla dodávka baterií a měničů provedena nějakou formou hromadné objednávky přímo od výrobce nebo autorizovaného dodavatele, budu předpokládat že u měniče který je konstrukčně schopen plnit tyto požadavky by v případě potřeby došlo k vytvoření příslušné verze ovládacího softwaru, která by umožňovala jak řízené nabíjení baterií při provozu větrné elektrárny, tak provoz kotle přímo při provozu větrné elektrárny či při prázdné baterii po dobu platnosti nízkého tarifu distributora napájení kotle ze sítě.

Požadavkům vypsáním výše na Českém trhu nejlépe odpovídají měniče Victron Quattro. Měníče jsou určené pro provoz generátoru paralelně s odběrem ze sítě (či pro provoz dvou generátorů) a jsou tedy zamýšlené pro střídavé vstupy, ze kterých je realizována akumulace a pokryta spotřeba. Měníče rovněž disponují dvěma oddělenými střídavými výstupy, tedy by bylo možné zapojit kotel odděleně od ostatních spotřebičů. Jsou schopné jak zapojení trojice měničů na třífázovou síť, tak paralelního provozu až čtyř 12 kW jednotek na jedné fázi (a až dvanácti jednotek na třech fázích souhrnně) a jsou dodávány v provedeních pro trvalý výkon 2 400, 4 000, 6 500, 8 000 a 12 000 Wattů. [136] Poskytují tedy značnou variabilitu pro sestavení konfigurace odpovídající výkonovým potřebám domácnosti (přestože počítám s domácnostmi rozdělenými na kategorie reprezentované jednotnou hodnotou roční spotřeby, výkonu topných spotřebičů a diagramem zatížení, je třeba brát v úvahu fakt, že při skutečné realizaci by bylo nutné posuzovat domácnosti odděleně). Výrobce navíc deklaruje možnost provozu v tzv. custom režimu kdy se měnič chová jako „hloupý“ a zcela podléhá řídicímu systému zákazníka implementovaného například pomocí programovatelných relé.

Požizovací cena tří jednotek těchto měničů o výkonu 6 500 W (dostatečné pro domy staré i nové zástavby) je 260 781 Kč. [137]

Kromě samotného měniče a baterií bude pro každou sestavu nutné zakoupit stojan na baterie. Jeden kus stojanu vybaveného ventilátorem, displejem a teplotním čidlem stojí 13 903 Kč. [138] Dále bude ke každému stojanu (a každému měniči) nutné pořídit sadu kabelů pro připojení k měniči v ceně 1 350 Kč, tedy celkem 4 050 Kč [139] a pro vše dohromady jeden Ovládací panel Color Control GX v ceně 14 540 Kč [140].

Nakonec instalaci nového elektroměru a přepínačů HDO ocením na 10 000 Kč. [141]

4.4.2.1.3 Shrnutí

Investiční výdaje varianty (mimo elektrokotle a topných těles, která jsou společná s nulovou variantou i variantou centrální akumulace) tedy budou:

- 260 781 Kč za tři potřebné jednofázové měniče
- 14 540 Kč za ovládací panel
- 37 528 Kč za každou potřebnou baterii
- 13 903 Kč za stojan pro každých (započatých) 8 kusů baterií
- 4 050 Kč za potřebné kabely ke třem měničům ke každému stojanu.“

4.4.2.2 Pozemky

Vzhledem k absenci centrální akumulace není nutné vykupovat pozemek, který by pojal bateriové úložiště. Cena zajištění pozemků tedy klesne na 1 200 000 Kč.

4.4.3 Provozní výdaje

Provozní výdaje jsou mimo absenci většiny výdajů na akumulaci (malá část akumulace zásobující veřejné osvětlení a obecní dům ve vlastnictví obce zůstává a je oceněna stejným způsobem jako pro variantu centralizované akumulace) totožné s centralizovanou variantou.

4.4.4 Ztráty

Vzhledem k použitým měničům v domácnostech se oproti centrální akumulaci mění následující hodnoty ztrát. Ostatní hodnoty jsou neměnné.

4.4.4.1 Ztráty akumulace – nabíjení

V souladu s tabulkou 1 stanovuji ztrátu baterie na 1 %. Pro zvolené měniče Victron uvádí výrobce [142] účinnost 96 %, tedy stanovím ztráty v měniči na $0,96^{-1}$, tedy 4,1 %. Souhrnnou ztrátu nabíjení akumulace stanovuji na 5,1 %.

4.4.4.2 Ztráty akumulace – odběr

V souladu s tabulkou 1 stanovuji ztrátu baterie na 1 %. Pro zvolené měniče Victron uvádí výrobce účinnost 96 %, tedy stanovím ztráty v měniči na $0,96^{-1}$, tedy 4,1 %. Souhrnnou ztrátu nabíjení akumulace stanovuji na 5,1 %.

4.4.5 Výstupy modelu

4.4.5.1 Elektrárna E-92 – rovnoměrné odpisy

		kapacita akumulace v MWh								
		0.47	0.705	0.94	1.175	1.41	1.645	1.88	2.115	2.35
c e n a e l e k t ř i n y v K č / M W h	500	-30 035	-31 096	-32 140	-33 175	-34 131	-35 084	-36 022	-36 945	-37 875
	550	-26 918	-27 936	-28 939	-29 939	-30 875	-31 814	-32 741	-33 653	-34 570
	600	-23 865	-24 869	-25 859	-26 836	-27 745	-28 651	-29 543	-30 422	-31 305
	650	-20 812	-21 803	-22 778	-23 740	-24 638	-25 532	-26 414	-27 281	-28 153
	700	-17 759	-18 736	-19 697	-20 645	-21 531	-22 414	-23 284	-24 141	-25 001
	750	-14 706	-15 669	-16 617	-17 550	-18 424	-19 295	-20 154	-21 000	-21 848
	800	-11 653	-12 602	-13 536	-14 454	-15 317	-16 177	-17 024	-17 860	-18 696
	850	-8 600	-9 535	-10 456	-11 359	-12 210	-13 059	-13 895	-14 719	-15 544
	900	-5 547	-6 468	-7 375	-8 263	-9 103	-9 940	-10 765	-11 578	-12 391
	950	-2 506	-3 406	-4 295	-5 168	-5 996	-6 822	-7 635	-8 438	-9 239
	1000	528	-358	-1 230	-2 080	-2 890	-3 703	-4 505	-5 297	-6 087
	1050	3 562	2 690	1 832	996	198	-598	-1 381	-2 157	-2 934
	1100	6 596	5 738	4 893	4 072	3 286	2 501	1 729	966	207
	1150	9 631	8 786	7 955	7 149	6 373	5 601	4 840	4 087	3 340
	1200	12 665	11 834	11 016	10 225	9 461	8 700	7 950	7 208	6 472
	1250	15 699	14 882	14 078	13 302	12 549	11 799	11 061	10 330	9 605
	1300	18 733	17 930	17 140	16 378	15 637	14 898	14 172	13 451	12 738
	1350	21 723	20 950	20 185	19 446	18 722	17 998	17 282	16 572	15 871
	1400	24 655	23 910	23 172	22 461	21 761	21 060	20 367	19 680	18 996
	1450	27 534	26 816	26 104	25 421	24 744	24 067	23 397	22 731	22 070
1500	30 365	29 673	28 988	28 331	27 678	27 023	26 376	25 730	25 092	
1550	33 153	32 486	31 828	31 196	30 566	29 932	29 308	28 682	28 067	
1600	35 900	35 259	34 625	34 020	33 410	32 800	32 196	31 592	30 998	
1650	38 609	37 995	37 385	36 806	36 218	35 629	35 046	34 463	33 889	
1700	41 288	40 696	40 111	39 556	38 990	38 421	37 860	37 295	36 745	
1750	43 932	43 367	42 804	42 274	41 728	41 181	40 639	40 096	39 563	
1800	46 550	46 007	45 468	44 962	44 437	43 910	43 388	42 864	42 352	
1850	49 143	48 620	48 105	47 621	47 118	46 610	46 109	45 603	45 111	
1900	51 736	51 225	50 721	50 256	49 771	49 284	48 801	48 316	47 841	
1950	54 329	53 829	53 337	52 885	52 409	51 935	51 469	51 002	50 547	
2000	56 922	56 434	55 954	55 514	55 048	54 583	54 127	53 669	53 230	

Tabulka 13: Čistá současná hodnota investice v závislosti na prodejní ceně elektřiny obyvatelům obce (svislá osa) a kapacitě instalované akumulace (vodorovná osa). Hodnoty jsou v tisících Kč.

Z výstupu modelu je zřejmé prudké zlepšení návratnosti investice absencí potřeby financovat akumulační část. Pro minimalistickou variantu akumulace o souhrnném objemu 940 kWh s výší investice 118 796 000 Kč činí minimální cena prodeje 1 020 Kč za MWh. Pro střední variantu akumulace o objemu 1 645 kWh činí minimální cena prodeje 1 060 Kč za MWh při výši investice 119 921 000 Kč. Pro maximální velikost akumulace 2 350 kWh s investičním výdajem 121 044 000 Kč činí minimální prodejní cena 1 097 Kč za MWh.

		kapacita akumulace v MWh									
c e n a e l e k t ř i n y v K č / M W h		0.47	0.705	0.94	1.175	1.41	1.645	1.88	2.115	2.35	
	500	-76 935	-77 545	-78 151	-78 747	-79 332	-79 917	-80 498	-81 075	-81 651	
	550	-71 222	-71 844	-72 461	-73 066	-73 661	-74 255	-74 844	-75 430	-76 014	
	600	-65 510	-66 143	-66 771	-67 386	-67 990	-68 593	-69 191	-69 785	-70 377	
	650	-59 797	-60 442	-61 080	-61 705	-62 318	-62 930	-63 537	-64 140	-64 740	
	700	-54 085	-54 741	-55 390	-56 024	-56 647	-57 268	-57 883	-58 495	-59 103	
	750	-48 398	-49 061	-49 716	-50 356	-50 986	-51 615	-52 237	-52 855	-53 469	
	800	-42 829	-43 495	-44 154	-44 796	-45 426	-46 057	-46 681	-47 301	-47 917	
	850	-37 311	-37 988	-38 658	-39 309	-39 948	-40 586	-41 216	-41 843	-42 464	
	900	-31 793	-32 481	-33 161	-33 822	-34 470	-35 117	-35 755	-36 390	-37 020	
	950	-26 276	-26 975	-27 665	-28 335	-28 992	-29 647	-30 295	-30 938	-31 575	
	1000	-20 758	-21 468	-22 169	-22 849	-23 514	-24 178	-24 834	-25 485	-26 130	
	1050	-15 240	-15 961	-16 673	-17 362	-18 036	-18 709	-19 373	-20 033	-20 686	
	1100	-9 723	-10 454	-11 177	-11 875	-12 559	-13 240	-13 913	-14 580	-15 241	
	1150	-4 205	-4 948	-5 680	-6 388	-7 081	-7 771	-8 452	-9 128	-9 796	
	1200	1 313	559	-184	-901	-1 603	-2 302	-2 991	-3 675	-4 352	
	1250	6 803	6 045	5 299	4 579	3 875	3 167	2 470	1 777	1 093	
	1300	12 271	11 503	10 746	10 017	9 304	8 594	7 895	7 201	6 515	
	1350	17 740	16 961	16 193	15 455	14 734	14 015	13 307	12 605	11 911	
	1400	23 129	22 360	21 602	20 867	20 148	19 427	18 717	18 008	17 307	
1450	28 372	27 619	26 874	26 156	25 448	24 740	24 039	23 343	22 651		
1500	33 440	32 711	31 987	31 289	30 600	29 908	29 225	28 542	27 865		
1550	38 297	37 602	36 909	36 239	35 575	34 908	34 247	33 584	32 927		
1600	42 946	42 267	41 600	40 964	40 337	39 703	39 072	38 439	37 810		
1650	47 573	46 885	46 209	45 566	44 935	44 306	43 689	43 076	42 474		
1700	52 200	51 503	50 818	50 167	49 528	48 892	48 268	47 649	47 040		
1750	56 827	56 121	55 428	54 768	54 122	53 479	52 847	52 221	51 606		
1800	61 454	60 739	60 037	59 370	58 716	58 065	57 427	56 794	56 172		
1850	66 081	65 357	64 646	63 971	63 310	62 652	62 006	61 366	60 738		
1900	70 708	69 975	69 255	68 572	67 904	67 238	66 585	65 939	65 304		
1950	75 336	74 593	73 864	73 173	72 497	71 825	71 165	70 511	69 870		
2000	79 963	79 211	78 473	77 775	77 091	76 411	75 744	75 084	74 436		

Tabulka 14: Čistá současná hodnota investice v závislosti na prodejní ceně přebytků elektřiny do sítě (svíslá osa) a kapacitě instalované akumulace (vodorovná osa). Hodnoty jsou v tisících Kč.

Díky snížení investičních výdajů při variantě decentralizované akumulace vzniká i u varianty menší zvažované elektrárny prostor pro případné snížení provozní podpory vlivem změny legislativy.

4.4.5.2 Elektrárna E-92 – zrychlené odpisy

Varianta se zrychlenými odpisy vychází pro všechny velikosti akumulace hůře než varianta s rovnoměrnými odpisy. (Viz. bod 4.3.5.2)

4.4.5.3 Elektrárna E-115 EP3 – rovnoměrné odpisy

		kapacita akumulace v MWh								
		0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3
c e n a e l e k t ř i n y v K č / M W h	0	9 977	8 657	7 621	6 292	5 271	4 019	2 971	1 766	521
	50	13 329	12 020	10 995	9 679	8 668	7 427	6 390	5 195	3 960
	100	16 680	15 384	14 370	13 065	12 065	10 835	9 809	8 623	7 400
	150	20 032	18 748	17 744	16 452	15 462	14 242	13 229	12 052	10 839
	200	23 384	22 111	21 118	19 839	18 859	17 650	16 648	15 481	14 278
	250	26 703	25 472	24 492	23 225	22 256	21 058	20 067	18 909	17 717
	300	29 918	28 757	27 832	26 610	25 653	24 465	23 486	22 338	21 157
	350	32 997	31 911	31 047	29 906	29 012	27 871	26 906	25 767	24 596
	400	35 902	34 881	34 084	33 034	32 211	31 162	30 275	29 191	28 035
	450	38 766	37 755	36 970	35 955	35 180	34 217	33 423	32 455	31 417
	500	41 630	40 630	39 853	38 849	38 083	37 129	36 350	35 425	34 477
	550	44 494	43 504	42 736	41 743	40 986	40 041	39 272	38 355	37 416
	600	47 358	46 378	45 619	44 637	43 889	42 953	42 194	41 285	40 355
	650	50 222	49 252	48 503	47 530	46 792	45 865	45 115	44 215	43 294
	700	53 086	52 126	51 386	50 424	49 694	48 776	48 037	47 145	46 233
	750	55 950	55 000	54 269	53 318	52 597	51 688	50 959	50 074	49 172
	800	58 814	57 875	57 152	56 212	55 500	54 600	53 881	53 004	52 110
	850	61 678	60 749	60 035	59 106	58 403	57 512	56 802	55 934	55 049
	900	64 542	63 623	62 919	62 000	61 306	60 424	59 724	58 864	57 988
	950	67 406	66 497	65 802	64 894	64 208	63 335	62 646	61 793	60 927
1000	70 270	69 371	68 685	67 788	67 111	66 247	65 568	64 723	63 866	
1050	73 134	72 245	71 568	70 681	70 014	69 159	68 489	67 653	66 805	
1100	75 998	75 120	74 451	73 575	72 917	72 071	71 411	70 583	69 744	
1150	78 862	77 994	77 335	76 469	75 820	74 983	74 333	73 512	72 682	
1200	81 726	80 868	80 218	79 363	78 722	77 894	77 255	76 442	75 621	
1250	84 590	83 742	83 101	82 257	81 625	80 806	80 176	79 372	78 560	
1300	87 454	86 616	85 984	85 151	84 528	83 718	83 098	82 302	81 499	
1350	90 318	89 490	88 868	88 045	87 431	86 630	86 020	85 231	84 438	
1400	93 182	92 365	91 751	90 939	90 333	89 542	88 942	88 161	87 377	
1450	96 046	95 239	94 634	93 832	93 236	92 454	91 864	91 091	90 316	
1500	98 910	98 113	97 517	96 726	96 139	95 365	94 785	94 021	93 254	

Tabulka 15: Čistá současná hodnota investice v závislosti na prodejní ceně elektřiny obyvatelům obce (svislá osa) a kapacitě instalované akumulace (vodorovná osa). Hodnoty jsou v tisících Kč.

Při absenci investičních výdajů a provozních výdajů akumulační části projektu vychází pro větší posuzovanou elektrárnu E-115 EP3 kladná čistá současná hodnota pro všechny varianty rozsahu akumulace a pro libovolnou prodejní cenu. Veškeré potřebné příjmy v tomto případě plynou z prodeje přebytků výroby a z úspor samotné obce ze spotřeby vlastní obnovitelné energie.

		kapacita akumulace v MWh								
		0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3
c e n a e l e k t ř i n y v K č / M W h	500	-71 038	-71 906	-72 526	-73 395	-74 010	-74 862	-75 480	-76 322	-77 171
	550	-61 107	-61 976	-62 598	-63 467	-64 085	-64 939	-65 560	-66 404	-67 255
	600	-51 404	-52 280	-52 908	-53 783	-54 407	-55 264	-55 889	-56 736	-57 589
	650	-41 708	-42 591	-43 228	-44 110	-44 742	-45 606	-46 239	-47 092	-47 953
	700	-32 011	-32 903	-33 547	-34 438	-35 077	-35 948	-36 588	-37 449	-38 317
	750	-22 314	-23 214	-23 867	-24 765	-25 412	-26 291	-26 938	-27 806	-28 680
	800	-12 618	-13 526	-14 186	-15 092	-15 746	-16 633	-17 287	-18 162	-19 044
	850	-2 921	-3 837	-4 506	-5 420	-6 081	-6 975	-7 637	-8 519	-9 407
	900	6 701	5 784	5 113	4 198	3 534	2 640	1 977	1 095	206
	950	16 312	15 386	14 707	13 785	13 113	12 212	11 541	10 652	9 757
	1000	25 806	24 901	24 230	23 321	22 654	21 759	21 091	20 201	19 305
	1050	34 907	34 040	33 395	32 520	31 877	31 014	30 366	29 507	28 640
	1100	43 491	42 683	42 078	41 256	40 648	39 835	39 218	38 403	37 577
	1150	51 636	50 843	50 253	49 463	48 881	48 110	47 530	46 771	46 006
	1200	59 768	58 968	58 371	57 575	56 986	56 209	55 623	54 858	54 088
	1250	67 900	67 093	66 490	65 686	65 091	64 308	63 716	62 945	62 169
	1300	76 032	75 218	74 608	73 798	73 196	72 407	71 809	71 032	70 250
	1350	84 164	83 343	82 726	81 910	81 302	80 507	79 902	79 119	78 331
	1400	92 296	91 468	90 844	90 021	89 407	88 606	87 996	87 206	86 413
	1450	100 427	99 593	98 963	98 133	97 512	96 705	96 089	95 294	94 494
1500	108 559	107 718	107 081	106 245	105 617	104 804	104 182	103 381	102 575	
1550	116 691	115 843	115 199	114 356	113 723	112 903	112 275	111 468	110 656	
1600	124 823	123 968	123 317	122 468	121 828	121 002	120 368	119 555	118 738	
1650	132 955	132 093	131 436	130 580	129 933	129 101	128 461	127 642	126 819	
1700	141 086	140 217	139 554	138 691	138 038	137 200	136 554	135 729	134 900	
1750	149 218	148 342	147 672	146 803	146 144	145 299	144 647	143 816	142 982	
1800	157 350	156 467	155 790	154 914	154 249	153 398	152 740	151 904	151 063	
1850	165 482	164 592	163 909	163 026	162 354	161 498	160 833	159 991	159 144	
1900	173 614	172 717	172 027	171 138	170 459	169 597	168 926	168 078	167 225	
1950	181 746	180 842	180 145	179 249	178 565	177 696	177 019	176 165	175 307	
2000	189 877	188 967	188 264	187 361	186 670	185 795	185 112	184 252	183 388	

Tabulka 16: Čistá současná hodnota investice v závislosti na prodejní ceně přebytků elektřiny do sítě (svislá osa) a kapacitě instalované akumulace (vodorovná osa). Hodnoty jsou v tisících Kč.

Pro větší zvažovanou elektrárnu je díky vyššímu objemu prodávaných přebytků tolerovatelná i případná nižší provozní podpora.

4.4.5.4 Elektrárna E-115 EP3 – zrychlené odpisy

Varianta se zrychlenými odpisy vychází pro všechny velikosti akumulace hůře než varianta s rovnoměrnými odpisy. (Viz. bod 4.3.5.2)

4.4.6 Hledisko odběratele

Na rozdíl od varianty centrální akumulace, při které nevznikají odběratelům oproti nulové variantě (elektrický kotel a odběr v tarifní sazbě D57d) žádné významné výdaje, jsou v tomto případě obyvatelé

nucení pro možnost zvýhodněného odběru investovat do vlastního bateriového úložiště. Je tedy nezbytné rovněž posoudit ekonomickou efektivnost investice z hlediska typického obyvatele obce.

Pro účely modelování jsem stanovil diskont fyzické osoby na 2,67 %, což je efektivní výnos stavebního spoření po zahrnutí státní podpory. Více obyvatel v jedné domácnosti by mohlo uzavřít více smluv (jednu na osobu) pro maximální využití této podpory. [143]

Modeloval jsem rozdíl čistých současných hodnot výdajů mezi variantami decentralizované akumulace a odběrem za cenu nízkého tarifu v sazbě D57d. Model zahrnuje dokupování elektřiny od distributora ve scénáři odběru z větrné elektrárny. Model nezahrnuje fixní náklady (platby za rezervovaný příkon) a investici do elektrokotle, protože jsou pro obě varianty shodné.

4.4.6.1 Elektrárna E-92

Pro varianty s elektrárnou E-92 je rozdíl čistých současných hodnot výdajů na spotřebu (ve prospěch varianty odběru z větrné elektrárny) 179 000 Kč pro domy nové zástavby a 411 000 Kč pro domy staré zástavby při souhrnné kapacitě akumulace 940 kWh při minimální ceně odběru, 138 000 Kč pro domy nové zástavby a 293 000 Kč pro domy staré zástavby při souhrnné kapacitě akumulace 1645 kWh a 59 000 Kč pro domy nové zástavby a 212 000 Kč pro domy staré zástavby při maximální hodnotě souhrnné kapacity akumulace ve výši 2 350 kWh. Zásadní bariérou v realizaci jsou ovšem investiční výdaje, které i pro nejmenší kapacity akumulace činí (shodně pro oba typy budov) 405 000 Kč a pro největší variantu činí 518 000 Kč pro domy nové zástavby a 594 000 Kč pro domy staré zástavby. Pro srovnání, průměrná hrubá měsíční mzda plně zaměstnané osoby v kraji Vysočina činila v roce 2020 32 710 Kč, tedy počáteční investice by i v neoptimističtějších případech přesáhla hrubý roční příjem průměrné vydělávajícího obyvatele kraje.

4.4.6.2 Elektrárna E-115

Pro varianty s elektrárnou E-115 dosahuje obec kladné čisté současné hodnoty investice pro libovolnou cenu včetně ceny nulové. Rozhodl jsem se tedy uvažovat cenu ve výši 500 Kč/MWh, která by měla posloužit jako motivační sazba k omezení plýtvání, ke kterému by při dodávce zcela zdarma pravděpodobně docházelo. Pro tyto varianty je rozdíl čistých současných hodnot výdajů na spotřebu (ve prospěch varianty odběru z větrné elektrárny) 406 000 Kč pro domy nové zástavby a 729 000 Kč pro domy staré zástavby při souhrnné kapacitě akumulace 900 kWh. Zde je zřejmý pozitivní vliv výkonnější elektrárny, která lépe pokrývá energetické potřeby obce, snižuje nutnost obyvatel dokupování elektřiny z distribuční sítě a z vysokého objemu prodeje přebytků podporuje nižší sazbu pro odběry obyvatel. Investice činí shodně pro novou i starou zástavbu 405 000 Kč. Pro maximální velikost akumulace 3000 kWh činí rozdíl současných hodnot výdajů ve prospěch akumulace 149 000 Kč pro domy nové zástavby a 298 000 Kč pro domy staré zástavby. Investice činí 556 000 Kč, respektive 687 000 Kč.

5 Závěr

5.1 Shrnutí

Možnosti využití větrné energie pro potřeby obce Zbilidy jsem zkoumal ve třech variantách pro volbu větrné elektrárny, dvou variantách organizace akumulace, a to centralizované a decentralizované. Pro každou variantu jsem zkoumal vždy devět stupňů možné kapacity akumulace. Nejmenší elektrárnu Enercon E-53 o jmenovitém výkonu 810 kW jsem v práci brzy určil jako výkonově nedostatečnou a nadále ji neposuzoval, proto budu nadále zmiňovat pouze elektrárny Enercon E-92 o jmenovitém výkonu 2 350 kW a Enercon E-115 EP3 o jmenovitém výkonu 3 000 kW. Varianty byly jsem navrhl tak, aby bylo možné využít investiční dotace z programu RES+ Modernizačního fondu. V rámci programu dosud nebyla vyhlášena výzva na projekty větrných elektráren, postupoval jsem tedy podle poslední zveřejněné verze podmínek pro poskytování podpory. Při výpočtech jsem rovněž počítal s využitím provozní podpory větrné elektrárny dle zákona o podporovaných zdrojích energie.

Následující tabulka shrnuje výsledky vybraných variant centralizované akumulace.

VARIANTY CENTRALIZOVANÉ AKUMULACE					
zvolená elektrárna	E-92 (2350 kW)			E-115 (3000 kW)	
kapacita akumulace (MWh)	0.940	1.645	2.350	0.900	3.000
minimální cena pro obyvatele (Kč/MWh)	1 212	1 389	1 560	35	527
NPV při ceně 1355 Kč/MWh (tis.)	8 756	-2 100	-12 952	80 635	54 132

Tabulka 17: Minimální prodejní cena elektrické energie dodávané obyvatelům obce a čistá současná hodnota variant pro standardizovanou cenu 1355 Kč/MWh.

Cenu 1355 Kč/MWh (bez DPH) jsem stanovil jako hraniční z toho důvodu, že se rovná běžné ceně dřevěných pelet na trhu a nad tuto cenu by se obyvatelé obce pravděpodobně rozhodli pro zakoupení kotle na pelety místo elektrického kotle a na projektu by se nepodíleli. V této centralizované variantě akumulace realizuje investici do akumulační části obec a díky tomu nejsou investiční výdaje na straně obyvatel příliš vysoké. Investici do zařízení na straně domácností odhaduji do 40 000 Kč.

Druhá tabulka zobrazuje stejné výstupy ale pro variantu decentralizované akumulace.

VARIANTY CENTRALIZOVANÉ AKUMULACE					
zvolená elektrárna	E-92 (2350 kW)			E-115 (3000 kW)	
kapacita akumulace (MWh)	0.940	1.645	2.350	0.900	3.000
minimální cena pro obyvatele (Kč/MWh)	1 020	1 060	1 097	0	0
NPV při ceně 1355 Kč/MWh (tis.)	20 485	18 308	16 185	89 778	84 732

Tabulka 18: Minimální prodejní cena elektrické energie dodávané obyvatelům obce a čistá současná hodnota variant pro standardizovanou cenu 1355 Kč/MWh.

V této variantě vzniká ve vlastnictví a na náklady obce pouze malá část kapacity akumulace (pro využití energie obecním majetkem) a většina kapacity je realizována formou bateriových úložišť v domácnostech, tedy ve vlastnictví a na náklady obyvatel. Důsledkem této změny je významný pokles investice na straně obce, a tedy i prudké zlepšení ekonomiky investice. Investiční výdaje na straně obyvatel jsou nicméně velmi vysoké, a to od 400 000 Kč výše. Na samostatnou domácí akumulaci elektrické energie do bateriového úložiště v současné době neexistuje aplikovatelný dotační titul a financování majetku obyvatel dotací z programu RES+ není přípustné. Tedy přestože dle provedených výpočtů ekonomické efektivity z hlediska odběratele by byla investice výhodná, považuji tyto varianty za nerealizovatelné.

V tuto chvíli je nutné dodat, že jsem se nezabýval variantou akumulace tepelné energie do větších zásobníků teplé vody na straně obyvatel. V rešeršní části jsem se již od začátku zabýval bateriovými úložišti, a navíc práce zabývající se využitím větrné elektrárny pouze v kombinaci s elektrokotlem a akumulačním zásobníkem teplé vody byla již na této katedře zpracována, tedy nebyl důvod zpracovávat znovu totožnou variantu. Pokud by se nicméně jednalo o reálný projekt, a ne o diplomovou práci, pravděpodobně bych pro decentralizovanou variantu dal přednost akumulaci energie do teplé vody kvůli značně nižším investičním výdajům na straně obyvatel. Pro srovnání, v decentralizované variantě akumulace jsem počítal s kapacitami akumulace v domácnostech od 4,5 kWh pro nejmenší varianty po 27 kWh pro největší variantu s investičním výdajem od 360 000 do 687 000 Kč. Pro srovnání, akumulační zásobník teplé vody s kapacitou 1000 litrů uschová při tepelném spádu soustavy 20 °C přes 23 kWh (83,6 GJ) tepelné energie pro vytápění se pořizovací cenou pohybuje do 30 000 Kč včetně DPH [144].

5.2 Závěr

Na základě výstupů technických a ekonomických modelů konstatuji, že potenciál pro ekonomicky efektivní využití větrné energie v lokalitě pravděpodobně existuje. Klíčem k dosažení ekonomické efektivity a splnění účelu v podobě nahrazení lokálních topenišť bezemisním zdrojem se zdá být naddimenzování elektrárny vůči potřebám obce za účelem maximalizace objemu prodeje přebytků elektrické energie na trhu za podporovanou cenu. Nejvýznamnějšími otázkami pro další rozhodování jsou skutečný průběh rychlosti větru v lokalitě, dimenzování kapacity akumulační části a legislativa v době uvedení do provozu.

Při simulaci výroby a akumulace energie jsem vycházel z dat větrné mapy popisující pouze střední rychlost větru a z historických denních dat o průměrných rychlostech větru blízké meteorologické stanice. Před skutečnou realizací projektu by bylo nutné za účelem získání spolehlivých dat větrné podmínky zkoumat skutečným měřením v místě které by poskytlo údaje o průměrné rychlosti větru během podstatně kratších časových úseků přibližně o délce 10 minut.

Absence dat z místa o typickém průběhu rychlosti větru během dne rovněž neumožnila spolehlivý výpočet optimální kapacity instalované akumulační části. Stanovení typického průběhu rychlosti větru případně i v kombinaci s průběhovým měřením spotřeby elektrické energie v obci by umožnilo lépe stanovit potřebnou velikost akumulace, a tedy i volbu investiční varianty.

Výstupy modelů jednoznačně ukazují výhodnost naddimenzování větrné elektrárny vzhledem k potřebám obce. Vysoký objem přebytků prodávaných do sítě za podporovanou výkupní cenu je zásadní pro dosažení dostatečně nízké minimální prodejní ceny elektřiny užívané obyvateli obce. Důsledkem toho nicméně je silná závislost na výši této provozní podpory. Novela zákona

o podporovaných zdrojích energie, které provozní podporu větrných zdrojů upravuje, není v současné době dokončená a není ještě možné vyloučit změny před nabytím právní moci.

5.3 Doporučení investorovi

Na základě zjištění bych obci jako investorovi doporučil odborné stanovení větrných poměrů měření v místě a provedení podrobného zmapování zvyklostí obyvatel co se týče průběhu spotřeby elektrické energie a průběhu a intenzity vytápění během dne. Tím by bylo umožněno stanovení potřebné kapacity akumulace dle jedné z variant centralizované akumulace do bateriového úložiště v kombinaci s větší elektrárnou Enercon E-115 EP3 či ekvivalentní elektrárnou jiného výrobce. Rovněž je nutné během této doby seznámit se záměrem obyvatele obce a dosáhnout souhlasného stanoviska.

Během doby potřebné ke zjištění výše uvedených informací by pravděpodobně již došlo k vyjasnění podmínek jak investiční, tak provozní podpory a bylo by možné učinit rozhodnutí na základě spolehlivých hodnot.

Předběžně se na základě modelů přikláním k rozhodnutí investici realizovat.

6 Použité zdroje

- 1) Volně dostupné na serveru mapy.cz
- 2) RIS - Regionální informační servis. Redirecting to /cs/ [online]. Copyright © 2019 Ministerstvo pro místní rozvoj ČR [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: <https://www.risy.cz/cs/vyhledavace/obce/588211-zbilidy>
- 3) Odbor statistiky obyvatelstva. Počet obyvatel v obcích k 1.1. 2019. Praha: Český statistický úřad, 2019. ISBN 978-80-250-2914-5. Strana 82
- 4) Dokument k.ú.: 791458 – Zbilidy – podrobné informace. Státní správa zeměměřičství a katastru. Dostupné z: https://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?AKCE=META:SESTAVA:MDR002_XSLT:WEBCUZZK_ID:791458
- 5) Obecně závazná vyhláška č. 1/2006 (územní plán) - Obec Zbilidy. Obec Zbilidy [online]. Dostupné z: <https://www.zbilidy.cz/o-62-obecne-zavazna-vyhlaska-c-1-2006-uzemni-plan> článek 4, bod 2
- 6) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 37 a 38
- 7) JUNG, O., MALÝ, L., MAREK, M., ŠMÍD, M., GAUSE, M. (ed.). Větrná Energie. Tábor: Střední průmyslová škola strojní a stavební, Tábor, Komenského 1670, 2013. Strana 46, 47
- 8) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 38, 39
- 9) JUNG, O., MALÝ, L., MAREK, M., ŠMÍD, M., GAUSE, M. (ed.). Větrná Energie. Tábor: Střední průmyslová škola strojní a stavební, Tábor, Komenského 1670, 2013. Strana 39
- 10) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 42, 43
- 11) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 42, 43
- 12) JUNG, O., MALÝ, L., MAREK, M., ŠMÍD, M., GAUSE, M. (ed.). Větrná Energie. Tábor: Střední průmyslová škola strojní a stavební, Tábor, Komenského 1670, 2013. Strana 39
- 13) TU Delft. Wind Energy online reader. Turbine topologies. 2008. Dostupné z: http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static_pages/upwind_downdwind.htm
- 14) TU Delft. Wind Energy online reader. Turbine topologies. 2008. Dostupné z: http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static_pages/blades_number.htm
- 15) TU Delft. Wind Energy online reader. Turbine topologies. 2008. Dostupné z: http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static_pages/horizontal_vertical.htm
- 16) JUNG, O., MALÝ, L., MAREK, M., ŠMÍD, M., GAUSE, M. (ed.). Větrná Energie. Tábor: Střední průmyslová škola strojní a stavební, Tábor, Komenského 1670, 2013. Strana 39
- 17) Gipe, P. [Wind-works.org]. Large Wind Turbines. 2017. Dostupné z: http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=625&tx_ttnews%5Btt_news%5D=4852&cHash=6145a8a4702c9d929945a6ff4379b67a
- 18) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 43-46

- 19) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 43-47
- 20) TU Delft. Wind Energy online reader. Turbine topologies. 2008. Dostupné z: http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static_pages/power_control.htm
- 21) Wind Turbine Control Methods - National Instruments. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/innovations/white-papers/08/wind-turbine-control-methods.html>
- 22) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 49, 50
- 23) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 49, 50
- 24) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 49, 50
- 25) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 52
- 26) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 53
- 27) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 52
- 28) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 214
- 29) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 214
- 30) Battery Discharge Methods – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/discharge_methods
- 31) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 215
- 32) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 215
- 33) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strana 215
- 34) BU-104b: Battery Building Blocks – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_104b_building_blocks_of_a_battery
- 35) MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Strany 226, 227
- 36) Lead-based Batteries Information – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries

- 37) Absorbent Glass Mat (AGM) Battery Information - Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent_glass_mat_agm
- 38) BU-201b: Gel Lead Acid Battery – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_201b_gel_lead_acid_battery
- 39) Absorbent Glass Mat (AGM) Battery Information - Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent_glass_mat_agm
- 40) TICHÝ, J. Lithiové akumulátory. Přehled základních typů a jejich vlastností. Brno: UETE FEKT VUT, [tzb-info.cz], 2019. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>
- 41) Lithium-based Batteries Information – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- 42) Secondary (Rechargeable) Batteries – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries
- 43) Li-polymer Battery: Substance or Hype? – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype
- 44) ŽERT, F., Strategie automobilky ve využití baterií z elektromobilu, Praha: ČVUT FEL Katedra ekonomiky, 2019. strana 37
- 45) Supercapacitor - Clean Energy Institute. Clean Energy Institute [online]. Copyright © 2020 [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/supercapacitor/>
- 46) Supercapacitor Information – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor
- 47) Battery Discharge Methods – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/discharge_methods
- 48) Supercapacitor Information – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2020 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 05.07.2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor
- 49) OP TAK. Agentura API. <https://www.agentura-api.org/cs/op-tak/> (accessed Oct 02, 2021).
- 50) Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (2021 – 2027). Agentura API [online]. květen 2020 [cited 2021-10-02], p. 29. Available from <https://www.agentura-api.org/wp-content/uploads/2020/12/op-tak-verze-kveten-2020-1.pdf>.
- 51) Modernisation Fund | Climate Action. European Commission [online]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/budget/modernisation-fund_en
- 52) Programy podpory – SFŽP ČR. SFŽP ČR – Státní fond životního prostředí ČR [online] bod 8. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/programy/>
- 53) Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+). Program pro poskytování podpory z prostředků Modernizačního fondu: [Online] 2021.

https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621342092_ModF_RES_podminky.pdf (accessed April 26, 2021) body 1 a 2.

54) Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+). Program pro poskytování podpory z prostředků Modernizačního fondu: [Online] 2021. https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621342092_ModF_RES_podminky.pdf (accessed April 26, 2021) body 4, 4.2, 4.2.1.

55) Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+). Program pro poskytování podpory z prostředků Modernizačního fondu: [Online] 2021. https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621342092_ModF_RES_podminky.pdf (accessed April 26, 2021) bod 4.1.3

56) Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+). Program pro poskytování podpory z prostředků Modernizačního fondu: [Online] 2021. https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621342092_ModF_RES_podminky.pdf (accessed April 26, 2021) bod 7 a 7.1

57) Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+). Program pro poskytování podpory z prostředků Modernizačního fondu: [Online] 2021. https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621342092_ModF_RES_podminky.pdf (accessed April 26, 2021) bod 5.2.1 a 5.2.2

58) Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+). Program pro poskytování podpory z prostředků Modernizačního fondu: [Online] 2021. https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621342092_ModF_RES_podminky.pdf (accessed April 26, 2021) bod 4.1.3 a 5.2.2

59) Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+). Program pro poskytování podpory z prostředků Modernizačního fondu: [Online] 2021. https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621342092_ModF_RES_podminky.pdf (accessed April 26, 2021) bod 5.1 a 6.3

60) KOVÁČ, P. Varianty ekologického zásobování obce tepelnou energií. Praha: ČVUT FEL Katedra ekonomiky 2005. Strany 14-17

61) Čejka, M.; Šafařík, M. Ekonomické porovnání provozu pasivního domu a běžné výstavby, 2012. tzb-info. <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/8238-ekonomicke-porovnani-provozu-pasivniho-domu-a-bezne-vystavby> (accessed Sept 03, 2020).

62) Spotřeba paliv a energií v domácnostech | ČSÚ. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energi-v-domacnostech> strana 75, tab 2-39

63) Web e-shopu Havelka. [Online]. <http://www.havelka.cz/bilinska-kostka-ledvice/>

64) Spotřeba paliv a energií v domácnostech | ČSÚ. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energi-v-domacnostech> strana 74, tab 2-3.6

65) Spotřeba paliv a energií v domácnostech | ČSÚ. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energi-v-domacnostech> strana 21, tab 1-3.2

66) Veřejné osvětlení | Otázky a odpovědi týkající se veřejného osvětlení měst a obcí. Veřejné osvětlení měst a obcí [online]. Dostupné z: <https://www.verejnesvetlo.cz/caste-dotazy/>

67) Meteorologické prvky a jejich klimatologické charakteristiky | Klimatologie a hydrogeografie pro učitele | Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity. Informační systém [online]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/03-prvky.html

- 68) Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Denní data : Data ze stanic sítě RBCN. Portál ČHMÚ : Home [online]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/data-ze-stanic-site-RBCN#>
- 69) Tintěra, J. Denostupně - teorie k výpočetní pomůcce, 2005. tzb-info. <https://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2592-denostupne-teorie-k-vypocetni-pomucce> (accessed Sept 03, 2020).
- 70) Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. tzb-info [Online]. <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- 71) Přepočtené TDD — Čeština. [online]. Copyright © OTE, a.s., 2018 [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elekriny/prepoctene-tdd?date=2019-12-02>
- 72) Konzultace – JUDr. Michael Kincl, poradce pro judikaturu Nejvyššího Soudu ČR. Expert na právo veřejné podpory, přednášková činnost v oblasti veřejné podpory
- 73) Větrná energie – Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. [online]. Dostupné z: <https://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty/vetrna-energie/>
- 74) Posunou se hranice okresů. Obyvatelům desítek obcí by změna zjednodušila vyřizování na úřadech — ČT24 — Česká televize. ČT24 — Nejdůvěryhodnější zpravodajský web v ČR — Česká televize [online]. Copyright © [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2426572-posunou-se-hranice-okresu-obyvatelum-desitek-obci-zmena-zjednodusila-vyrizovani-na>
- 75) KOČÁRNÍK, Petr. Strojní struktury elektráren 3 [přednáška], strana 2
- 76) KOČÁRNÍK, Petr. Strojní struktury elektráren 3 [přednáška], strana 2
- 77) Větrné podmínky ve výšce 10 m, podmínky pro malé větrné elektrárny . 301 Moved Permanently [online]. Copyright © Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i. [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>
- 78) Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Denní data : Data ze stanic sítě RBCN. Portál ČHMÚ : Home [online]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/data-ze-stanic-site-RBCN#>
- 79) Technology & Service. ENERCON wind energy converters [online]. 2015, p. 10, 22. Available from https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/en/ENERCON_TuS_en_06_2015.pdf .
- 80) Technology & Service. ENERCON wind energy converters [online]. 2015, p. 22. Available from https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/en/ENERCON_TuS_en_06_2015.pdf .
- 81) Datenblaetter. Enercon [Online]2019 p. 6. https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/EC_Datenblaetter_WEA_en_082019.pdf
- 82) ENERCON product overview. The most suitable wind energy converter for every location [Online] 2015, p. 8. https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/en/ENERCON_Produkt_en_06_2015.pdf
- 83) Datenblaetter. Enercon [Online]2019 p. 15. https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/EC_Datenblaetter_WEA_en_082019.pdf
- 84) ENERCON product overview. The most suitable wind energy converter for every location [Online] 2015, p. 20. https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/en/ENERCON_Produkt_en_06_2015.pdf
- 85) Větrné elektrárny. Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů [Online]. <http://www.spvez.cz/pages/OZE/vitr.htm>

- 86) HANSLIAN, D. Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice z perspektivy roku 2020. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i. [online]. 2020, p. 3.2.1.1.. Available from <https://www.komoraoze.cz/download/pdf/171.pdf>.
- 87) Datenblaetter. Enercon [Online]2019 p. 21. https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/EC_Datenblaetter_WEA_en_082019.pdf
- 88) ENERCON product overview. The most suitable wind energy converter for every location [Online] 2015, p. 26. https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/en/ENERCON_Produkt_en_06_2015.pdf
- 89) Přehled sazeb a cen za zajišťování distribuce elektřiny. Brožura distribuce [Online] 2021, p. 8. https://www.egd.cz/sites/default/files/2020-12/EGD_brozura_distribuce_EE_D_2021_04.pdf
- 90) Zákon 201/2012 S. O ochraně ovzduší. <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-201-2012-sb-o-ochrane-ovzdusi>, §17 odst. (1) písm. g.
- 91) Lyčka, Z. Jakých spalovacích zdrojů se týká povinná výměna?. tzb-info [Online] 2019. <https://vytapani.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/18589-jakych-spalovacich-zdroju-se-tyka-povinna-vymena>
- 92) Suchánek; Laboutka Měrné tepelné ztráty objektů q[W/m³]. Výpočtové tabulky pro vytápění 9, 2001 [Online]. <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/40-merne-tepelne-zraty-objektu-q-w-m3>
- 93) KOVÁČ, P. Varianty ekologického zásobování obce tepelnou energií. Praha: ČVUT FEL Katedra ekonomiky 2005. Strana 14
- 94) Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. tzb-info [Online]. <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- 95) Obecně závazná vyhláška č. 1/2006 (územní plán): Zbilidy. Zbilidy: Titulní stránka [online]. Dostupné z: https://www.zbilidy.cz/vismo/dokumenty2.asp?id_org=19145&id=1086&n=obecne%2Dzavazna%2Dvyhlaska%2Dc%2D1%2D2006%2Duzemni%2Dplan
- 96) Čejka, M. Budovy s téměř nulovou spotřebou – porovnání energetických standardů. tzb-info [Online] 2017, tabulka 1. <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu>
- 97) Přehled sazeb a cen za zajišťování distribuce elektřiny. Brožura distribuce [Online] 2021, p. 8. https://www.egd.cz/sites/default/files/2020-12/EGD_brozura_distribuce_EE_D_2021_04.pdf
- 98) Ceny elektrické energie 2021. tzb-info [Online]. <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-prehled-cen-elektricke-energie#d57>
- 99) Novotný, J. Emise CO₂ a jejich dopad na hodnocení zdrojů v budovách. tzb-info [Online] 2018, obr. 6. <https://vytapani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>
- 100) Revision for phase 4 (2021-2030) | Climate Action. European Commission [online]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision_en
- 101) ČEZ plánuje do roku 2040 odstavit většinu uhelných elektráren. Počerady prodá Tykačovi. Lidovky.cz [Online] 2019. https://www.lidovky.cz/byznys/cez-nyni-planuje-prodat-elektrarnu-pocerady-majitelem-ma-byt-tykacova-firma-se-ven-energy.A191004_105052_energetika_vag
- 102) Cílování inflace v ČR - Česká národní banka. [online]. Copyright © ČNB 2021 [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/cilovani>

- 103) Bosch Tronic Heat 3500 9 FSE Sestava elektrokotle a ohříváče vody | TOPENILEVNE.CZ. Topení, Voda, Plyn, Sanita, Kanalizace, Domácnost | TOPENILEVNE.CZ [online]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/bosch-tronic-heat-3500-9-fse-p58234/>
- 104) Simfer S4100KV SLIM Elektrické topidlo | TOPENILEVNE.CZ. Topení, Voda, Plyn, Sanita, Kanalizace, Domácnost | TOPENILEVNE.CZ [online]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/simfer-s4100kv-slim-p55529/>
- 105) Protherm RAY AK 12KE + 120 l zásobník TV Sestava elektrokotle | TOPENILEVNE.CZ. Topení, Voda, Plyn, Sanita, Kanalizace, Domácnost | TOPENILEVNE.CZ [online]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/protherm-ray-ak-12ke-120-l-zasobnik-tv-p42867/>
- 106) Protherm RAY 6 KE Elektrokotel | TOPENILEVNE.CZ. Topení, Voda, Plyn, Sanita, Kanalizace, Domácnost | TOPENILEVNE.CZ [online]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/protherm-ray-6-ke-p64188/>
- 107) Protherm FE 120/6 Ohříváč vody nepřímotopný stacionární | TOPENILEVNE.CZ. Topení, Voda, Plyn, Sanita, Kanalizace, Domácnost | TOPENILEVNE.CZ [online]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/protherm-fe-120-6-p55368/>
- 108) RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2019. IRENA [Online] 2020, p. 53. <https://irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>
- 109) RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2019. IRENA [Online] 2020, p. 56. <https://irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>
- 110) Koč, B. Větrné elektrárny VII. – Jak se staví větrná elektrárna. tzb-info [Online] 2016. <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14893-jak-se-stavi-vetrna-elektrarna>
- 111) PRŮMĚRNÉ CENY DOPRAVNÍ A TECHNICKÉ INFRASTRUKTURY OBCÍ - Zásobování elektrickou energií. Ústav územního rozvoje [Online] 2019, bod 4.1. <https://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/internetove-prezentace/prumerne-ceny-TI/2019/04-elektro-ceny-ti-2019.pdf>
- 112) PRŮMĚRNÉ CENY DOPRAVNÍ A TECHNICKÉ INFRASTRUKTURY OBCÍ - Zásobování elektrickou energií. Ústav územního rozvoje [Online] 2019, bod 4.4. <https://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/internetove-prezentace/prumerne-ceny-TI/2019/04-elektro-ceny-ti-2019.pdf>
- 113) Energetický regulační V Ě S T N Í K. ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD [Online]2020, p. 32. https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV9_2020.pdf/39cd3a18-48f1-43d1-9e01-2d63d151a644
- 114) Vyhláška č. 16/2016 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-16-2016-sb-o-podminkach-pripojzeni-k-elektrizacni-soustave>, příloha č. 8.
- 115) Sněmovní tisk 870. Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky. <https://www.psp.cz/sqw/text/historie.sqw?o=8&T=870> .
- 116) Sněmovní tisk 870/0. Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky [Online] p. 107, 108. <https://www.psp.cz/sqw/text/tiskt.sqw?O=8&CT=870&CT1=0>
- 117) Sněmovní tisk 870/a0. Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky [Online] §2 bod 2, písmena e, f. <https://www.psp.cz/sqw/text/tiskt.sqw?O=8&CT=870&CT1=0>
- 118) Sněmovní tisk 870/a0. Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky [Online] § 12 body 1 a 2. <https://www.psp.cz/sqw/text/tiskt.sqw?O=8&CT=870&CT1=0>
- 119) Energetický regulační V Ě S T N Í K. ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD [Online] 2020, p. 42. https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV5_2020.pdf/45de5af0-5089-46d2-b94a-ffa7c726847d
- 120) Energetický regulační V Ě S T N Í K. ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD [Online] 2020, p. 36. https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV5_2020.pdf/45de5af0-5089-46d2-b94a-ffa7c726847d

- 121) Zákon č. 586/1992 Sb. České národní rady o daních z příjmů. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-586>, § 30 a příloha č. 1.
- 122) Czech Republic 20-Year Bond Yield. Investing.com. <https://www.investing.com/rates-bonds/czech-republic-20-year-historical-data> (accessed May 10, 2021).
- 123) Měnová statistika V/2021. Česká národní banka [Online] tabulka 10. https://www.cnb.cz/export/sites/cnb/cs/statistika/.galleries/menova_bankovni_stat/menova_stat_publ/2021/menstat_2021-05_CZ.pdf
- 124) Metodika stanovení výkupních cen a zelených bonusů. Energetický regulační úřad [online]. vol. 2012, no. 165, p. bod 1.3. Available from https://www.eru.cz/documents/10540/462902/metodika_165_2012.pdf/5d64411c-d005-4a4e-830a-fd2846254710.
- 125) Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+). Program pro poskytování podpory z prostředků Modernizačního fondu: [Online] 2021. https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621342092_ModF_RES_podminky.pdf (accessed April 26, 2021) 4.2.1.
- 126) Konzultace – Jakub Hrbek, ředitel Sekce realizace projektů energetiky, ochrany ovzduší a klimatu
- 127) Elektrocentrála Europower EP600TDE | Profi-Elektrocentrály.cz. Elektrocentrály Medved, Europower, Heron, Zipper | Profi-Elektrocentrály.cz [online]. Copyright © 2020 EPROFI.CZ s.r.o. [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://www.profi-elektrocentraly.cz/trifazova-elektrocentrala-europower-ep600tde>
- 128) Suché transformátory Altrafo | Trafo CZ. Výroba, prodej a servis transformátorů | Trafo CZ [online]. Copyright © 2021 Trafo CZ, a.s. [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://www.trafocz.cz/suche-transformatory-altrafo.html>
- 129) Kabely pro střední napětí. Labara cables [Online]2012. https://www.labaracables.cz/cs/?option=com_xkatalog&task=att_download&link_id=106&cf_id=75
- 130) Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019. Energetický regulační úřad [Online]2012 p. 39. https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc
- 131) Konzultace – Jakub Hrbek, ředitel Sekce realizace projektů energetiky, ochrany ovzduší a klimatu
- 132) Large-scale storage systems – pv magazine International. pv magazine International – Photovoltaic Markets and Technology [online]. Copyright © pv magazine 2021 [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: https://www.pv-magazine.com/market-overviews/large-scale-storage-systems/?row_id=63
- 133) Cenová mapa zemědělské půdy. Cenová mapa zemědělské půdy [online]. Dostupné z: <https://www.cenova-mapa-pudy.cz/>
- 134) FAQ. Redirecting to /de [online]. Dostupné z: <https://www.smart-power.net/de/top-navigation/faq>
- 135) Ecoprodukt.cz - Solární produkty [online]. Copyright © 2010 [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/81406-baterie-lifepo4-pylontech-us3000b-plus-48v-3-6kwh-21372#features>
- 136) Quattro Inverter/Charger datasheet. Victron Energy [Online]. <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-Quattro-3kVA-15kVA-EN.pdf>
- 137) Ecoprodukt.cz - Solární produkty [online]. Copyright © 2010 [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/85702-menic-victron-quattro-48v-8000va-110a-100a-100a-30971>
- 138) Ecoprodukt.cz - Solární produkty [online]. Copyright © 2010 [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/85154-pylonbox-sedy-na-8ks-pylontech-30224>

- 139) Ecoprodukt.cz - Solární produkty [online]. Copyright © 2010 [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/78850-kabel-pro-pripojeni-pylontech-baterii-k-menicum-19016>
- 140) Ecoprodukt.cz - Solární produkty [online]. Copyright © 2010 [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/68927-ovladaci-panel-victron-energy-color-control-gx-9968>
- 141) Pořizujete fotovoltaiku? Pozor na povinné úpravy elektroměrových sloupků. tzb-info [Online] 2020. <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/20379-porizujete-fotovoltaiku-pozor-na-povinne-upravy-elektromerovych-sloupku>
- 142) Quattro Inverter/Charger datasheet. Victron Energy [Online]. <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-Quattro-3kVA-15kVA-EN.pdf>
- 143) Peníze.cz - Největší web o osobních financích na českém internetu [online]. Dostupné z: <https://www.penize.cz/kalkulacky/vynos-stavebni-sporeni#vynos-ss>
- 144) LMT 1000 I - Akumulační nádrž se 2 výměníky. Akumulační nádrže [online]. Copyright © 2009 [cit. 12.08.2021]. Dostupné z: <https://akumulacni-nadrz.cz/lmt-1000-d790-1v.php>