



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

# ANALÝZA HRANIČNÍCH STAVŮ DISTRIBUČNÍ SÍTĚ S VYSOKÝM POČTEM FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJŮ

LIMIT STATE ANALYSIS OF DISTRIBUTION NETWORK WITH A HIGH NUMBER OF PHOTOVOLTAIC  
SOURCES

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Dvořáček

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Paar, Ph.D.

BRNO 2023

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. Jan Dvořáček

**ID:** 195660

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Analýza hraničních stavů distribuční sítě s vysokým počtem fotovoltaických zdrojů**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Legislativní podmínky pro připojování zdrojů
2. Návrh scénářů chování spotřebitelů/producentů s bateriovými systémy a FVE
3. Návrh kritických stavů způsobenou lokální produkcí elektrické energie ve vybrané části distribuční sítě
4. Vyhodnocení oblasti s vysokým počtem FVE zdrojů při vybraném chování skupiny spotřebitelů/producentů

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 22.5.2023

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Paar, Ph.D.

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Diplomová práce navrhuje změny v posuzování připojitelnosti nových zdrojů do distribuční soustavy. Ve vyhodnocovacím procesu uvažuje reálnější model fotovoltaického zdroje s proměnlivým výkonem v průběhu času v závislosti na lokálních podmínkách. Tento model je aplikován na reálnou oblast a práce následně vyhodnocuje, s ohledem na chování připojených spotřebitelů, navýšení kapacity sítě.

**Klíčová slova:** distribuční soustava, fotovoltaická elektrárna, kapacita sítě, kritický stav sítě, podmínky připojení

## **Abstract**

The master thesis proposes changes in the assessment of the connectivity of new power sources to the distribution system. In the evaluation process, it considers a more realistic model of a photovoltaic source with variable output over time depending on local conditions. This model is applied to the real area and the work subsequently evaluates, considering the behavior of connected consumers, the increase in network capacity.

**Keywords:** connection conditions, critical state of the network, distribution system, photovoltaic power plant, network capacity

## **Bibliografická citace**

DVOŘÁČEK, Jan. *Analýza hraničních stavů distribuční sítě s vysokým počtem fotovoltaických zdrojů*. Brno, 2023. 44 s. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149194>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	Jan Dvořáček
<b>VUT ID studenta:</b>	195660
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Akademický rok:</b>	2022/23
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Analýza hraničních stavů distribuční sítě s vysokým počtem fotovoltaických zdrojů

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 22. května 2023

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Paarovi, Ph.D. za skvělý přístup a cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Děkuji společnosti EG.D, a.s. za poskytnutí dat a výpočetního programu.

V Brně dne: 22. května 2023

-----  
podpis autora

# Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	9
SEZNAM TABULEK.....	10
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>2. LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ ZDROJŮ .....</b>	<b>13</b>
2.1 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV (PPDS) .....	13
2.1.1 Rozdělení zdrojů podle výkonnostní řady .....	13
2.1.2 Žádost o připojení zdroje z pohledu žadatele .....	14
2.1.3 Žádost o připojení zdroje z pohledu distributora.....	14
2.1.4 Podmínky připojení zdroje skupiny A1 bez přetoků .....	15
2.1.5 Podmínky připojení zdroje s přetoky ze skupiny A.....	15
2.1.6 Podpora sítě dle PPDS Příloha 4 .....	16
2.1.7 Změna podmínek pro připojení zdroje do DS.....	17
2.2 NOVELA ENERGETICKÉHO ZÁKONA - LEX OZE I.....	17
2.3 NOVELA ENERGETICKÉHO ZÁKONA - LEX OZE II .....	17
2.3.1 Energetické společenství a společenství pro obnovitelné zdroje .....	18
<b>3. SCÉNÁŘE CHOVÁNÍ ODBĚRATELŮ A VÝROBCŮ EL. ENERGIE .....</b>	<b>19</b>
3.1 SPOTŘEBITEL .....	19
3.1.1 Typové diagramy dodávek (TDD).....	19
3.1.2 Model chování rodiny s dětmi.....	21
3.2 SPOTŘEBITEL S INSTALOVANÝM ZDROJEM .....	23
3.2.1 Pouze zdroj .....	23
3.2.2 Zdroj s bateriovým systémem.....	23
<b>4. ŘEŠENÁ OBLAST .....</b>	<b>26</b>
4.1 VSTUPNÍ BODY .....	27
4.2 TYPOVÉ ROZLOŽENÍ OBJEKTŮ V OBLASTI.....	27
<b>5. NÁVRH KRITICKÝCH STAVŮ .....</b>	<b>30</b>
5.1 ZHODNOCENÍ VLIVU JEDNOTLIVÝCH FAKTORŮ.....	30
5.1.1 Umístění fotovoltaických elektráren v DS .....	30
5.1.2 Zeměpisná poloha .....	31
5.1.3 Orientace fotovoltaických elektráren .....	31
5.1.4 Instalovaný výkon.....	32
5.1.5 Využití přebytečné energie.....	32
5.1.6 Časový průběh a intenzita ozáření.....	33
5.2 ANALÝZA ČASOVÉHO PRŮBĚHU INTENZITY OZÁŘENÍ.....	33
5.2.1 Leden .....	33
5.2.2 Červenec .....	34
<b>6. VYHODNOCENÍ OBLASTI - DTS 5 .....</b>	<b>37</b>
6.1 POUZE ZDROJE - ČERVENEC .....	37
6.2 SPOTŘEBITEL A SPOTŘEBITEL SE ZDROJEM - ČERVEN .....	38



<b>7. ZÁVĚR .....</b>	<b>40</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>41</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>43</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 3-1 Průběh spotřeby během všedního dne u rodiny s dětmi [10].....	22
Obrázek 3-2 Průběh spotřeby během víkendu u rodiny s dětmi [10].....	22
Obrázek 3-3 Energetická bilance skutečného spotřebitele s fotovoltaickou elektrárnou a bateriovým systémem 09.03.2021 [12].....	24
Obrázek 3-4 Energetická bilance skutečného spotřebitele s fotovoltaickou elektrárnou a bateriovým systémem 21.06.2021 [12].....	24
Obrázek 3-5 Očekávaná cena baterií za kWh [11].....	25
Obrázek 4-1 Kabelové schéma řešené oblasti.....	26
Obrázek 4-2 Kabelové schéma západní oblasti .....	27
Obrázek 4-3 Kabelové schéma centrální oblasti .....	28
Obrázek 4-4 Kabelové schéma východní oblasti .....	29
Obrázek 5-1 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [13].....	31
Obrázek 5-2 Proudové průběhy měřené DTS během týdne .....	32
Obrázek 5-3 Očekávané ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce ledna [15] .....	34
Obrázek 5-4 Očekávané ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce července [15] .....	35
Obrázek 5-5 Očekávané přímé ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce července dle orientace [15].....	36
Obrázek 6-1 Fotovoltaické elektrárny v oblasti .....	37
Obrázek 6-2 Stávající a nově přidané fotovoltaické elektrárny v oblasti.....	39

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1 Výkonové kategorie zdrojů [2].....	14
Tabulka 2-2 Hodnoty nastavení nadpět'ových ochran [18] .....	17
Tabulka 3-1 Třidy typových diagramů dodávek [14] .....	21
Tabulka 5-1 Rozdíl napětí před a po připojení zdroje .....	31
Tabulka 6-1 Výsledky simulace pro zdroje bez zátěže .....	38
Tabulka 6-2 Výsledky simulace připojení zdrojů při započítání spotřeby .....	38
Tabulka 6-3 Výsledky simulace připojení stávajících a nových zdrojů při započítání spotřeby.....	39

# 1. ÚVOD

V roce 2022 byly do distribuční sítě připojeny fotovoltaické zdroje o odhadovaném celkovém výkonu 290 MWp. Oproti předešlému roku to byl téměř čtyřnásobný nárůst. Došlo k připojení téměř třiceti čtyř tisíců nových elektráren, z toho téměř dvě třetiny v síti nízkého napětí s průměrným instalovaným výkonem 6,7 kWp. Tento trend, který vyvolala energetická krize a náhle zvýšení cen elektrické energie společně s možností využití státních dotací, nadále trvá. [1]

V současné době dochází často k zamítání žádostí o připojení nových zdrojů z důvodu nedostatečné kapacity sítě v místě připojení. Tento fakt je možné ukázat například na veřejném portálu společnosti EG.D, a.s., kde jsou uzavřené oblasti, bez možnosti připojení nového zdroje, zveřejněny.

Na začátku roku 2023 vzešla v platnost novela energetického zákona 19/2023 Sb., označována jako Lex OZE I. Touto novelou došlo k rozvolnění pravidel využití fotovoltaických elektráren pro běžné občany. V současné době prochází procesem schvalování novela Lex OZE II, která navazuje na předešlou novelu a značně ji rozšiřuje v oblasti komunitní energetiky. V dubnu letošního roku (2023) byla novela vrácena k přepracování. [6][7]

Z pohledu běžného spotřebitele jsou tyto změny vnímány kladně. Získávají tím větší volnost ve využití fotovoltaických elektráren. Z jejich pohledu je chtěné, aby každý mohl vybudovat fotovoltaickou elektrárnu a měl možnost dodávat přebytečnou energii do sítě. Umožnění dodávky do sítě je vyžadováno s ohledem na urychlení ekonomické návratnosti celého systému.

Z pohledu státu je cílem, aby došlo k větší decentralizaci zdrojů a zvýšilo se tak využití obnovitelných zdrojů energie. Pohled distributora ale není tak přívětivý. Jeho hlavním cílem je připojení všech odběratelů a zajištění dodávky energie, v požadované kvalitě, s co nejmenším počtem jejího přerušování. Bohužel, v tomto případě narůstající počet zdrojů připojovaných do sítě nízkého napětí hraje v jeho neprospěch. Stávající pravidla pro připojení nového zdroje do distribuční sítě jsou nastavená tak, aby nedošlo za žádných okolností k poklesu kvality elektrické energie, tak by jejich zmírnění mohlo poskytnout prostor pro připojení nových zdrojů, bez obav poklesu kvality elektrické energie.

V této práci se bude analyzována vybraná oblast distribuční soustavy. Vybraná oblast je reálná, data pro tuto diplomovou práci poskytla společnost EG.D, a.s. společně s výpočtním programem. Tato oblast je v současné době, díky nastaveným pravidlům, uzavřena a není tedy možno připojovat nové zdroje s přetoky do distribuční sítě. Práce má dále za úkol

v teoretické části čtenáře seznámit se současným stavem legislativy v oblasti připojování nových zdrojů do sítě nízkého napětí. Následně vytvořit scénáře pro chování typických spotřebitelů, kteří se mohou nacházet ve vybrané oblasti.

V další části bude vysvětlen postup vyhledání jednotlivých kritických stavů sítě s návazností na vytvořené scénáře chování spotřebitelů. Popsání hlavních faktorů a zhodnocení jejich vlivu pro nalezení kritických stavů.

V praktické části je provedeno vyhodnocení simulací navržených modelů pro vybranou oblast.

## 2. LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ ZDROJŮ

Tato kapitola přibližuje podmínky připojování zdrojů v distribuční soustavě. Vybranou problematiku řeší *Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy*. Ačkoliv se práce bude zabývat pouze fotovoltaickými zdroji, budou v této kapitole probrány zdroje jako celek. [2]

### 2.1 Pravidla provozování distribučních soustav (PPDS)

Každý výrobce elektrické energie v rámci lokální distribuční soustavy (LDS) i distribuční soustavy (DS) v sítích s nízkým napětím, vysokým napětím a velmi vysokým napětím musí dodržet podmínky stanovené v příloze 4 PPDS: *Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy*. V tomto dokumentu jsou probrána hlavní kritéria pro připojení a provoz výroben. [2]

Diplomová práce se věnuje rozdělení zdrojů dle přílohy 4 PPDS. Dále se zaměřuje na schvalovací řízení pro připojení zdroje (většinou fotovoltaického) ze strany provozovatele distribuční soustavy (PDS) v rámci nízkého napětí. A na závěr je uveden popis požadovaných ochranných opatření a jejich nastavení.

#### 2.1.1 Rozdělení zdrojů podle výkonnostní řady

Jednotlivé zdroje se dělí do kategorií A až D. Práci se dále nebude zabývat zdroji připojovanými do vyšších napěťových hladin, tedy kategorií B až D. Důvodem je, že v síti nízkého napětí se očekávají<sup>1</sup> zdroje především z kategorie A, tedy do maximálního jmenovitého výkonu 100 kW.

Kategorie A se dále dělí na skupiny A1 a A2. První zmiňovaná skupina řeší zdroje od 800 W do 11 kW a druhá od 11 kW do 100 kW. [2]

---

<sup>1</sup> V praxi zřídka dochází k připojení zdrojů kategorie B do sítě NN. Důvodem je nutnost vysoké hodnoty hlavního jističe a také instalace DŘT (dispečersky řízená technika). [3]

Tabulka 2-1 Výkonové kategorie zdrojů [2]

Kategorie výrobního modulu	Limit	Podkat.	Hranice PDS	Nejvýznamnější požadavky
A	800 W	A1	$\geq 800 \text{ W};$ $\leq 11 \text{ kW}$	podle čl. 13 pro výrobní moduly A
		A2	$> 11 \text{ kW};$ $< 100 \text{ kW}$	podle čl. 13 pro výrobní moduly A a čl. 14.2, 14.3, 14.4, 14.5 pro výrobní moduly B a čl. 20 pro nesynchronní výrobní moduly kategorie B
B	1 MW	B1	$\geq 100 \text{ kW};$ $< 1 \text{ MW}$	podle čl. 14 pro výrobní moduly B, čl. 17 pro synchronní výrobní moduly B a čl. 20 pro nesynchronní výrobní moduly kategorie B
		B2	$\geq 1 \text{ MW};$ $< 30 \text{ MW}$	podle čl. 14 pro výrobní moduly B, čl. 17 pro synchronní výrobní moduly B a čl. 15.2, 15.3, 15.4, 15.5a, 15.5b, 15.5c, 15.6a, 15.6b, 15.6c pro výrobní moduly C, podle čl. 18 pro synchronní výrobní moduly C a podle čl. 21 pro nesynchronní výrobní moduly kategorie C
C	50 MW	C	$\geq 30 \text{ MW}$ $< 75 \text{ MW}$	podle čl. 15, čl. 18 a čl. 21
D	75 MW	D	$\geq 75 \text{ MW}$	podle čl. 16, čl. 19 a čl. 22

### 2.1.2 Žádost o připojení zdroje z pohledu žadatele

Před samotným připojením zdroje do DS je zapotřebí získat souhlas Provozovatele distribuční soustavy (PDS). K tomu je nutné vyplnit žádost o připojení výrobní, která musí obsahovat následující náležitosti:

- souhlas vlastníka nebo všech vlastníků nemovitosti s novým zdrojem
- jednofázové schéma zapojení
- druh zdroje a jeho instalovaný výkon
- počet a výkony střídačů
- hodnota rezervovaného výkonu
- hodnota hlavního jističe a další formální informace.

Takto vyplněnou žádost je nutné zaslat určenými prostředky distributorovi ke schválení. Lze posílat poštou, e-mailem nebo pomocí elektronického formuláře. [2]

### 2.1.3 Žádost o připojení zdroje z pohledu distributora

Rychlost zpracování žádosti závisí na způsobu jejím podání žadatelem. Například, pokud se žadatel rozhodne odeslat žádost poštou, dojde zcela jistě k navýšení potřebného času k jejímu vyřízení. Kromě zdržení způsobeného samotnou přepravou zásilky, je nutné připočítat čas administrativních úkonů prováděných asistenčním týmem. Zde musí dojít k ručnímu

zadání informací z žádosti do informačního systému PDS. Po všech těchto krocích, které mohou trvat v nejhorších případech i dva týdny, dojde k zobrazení žádosti u konkrétního pracovníka PDS odpovědného za vyřízení žádosti. [2]

Naproti tomu, podání žádosti přes internetový formulář zprostředkuje předání žádosti odpovědnému pracovníkovi v rámci několika hodin. Na samotné vyřízení žádosti na hladině NN má pracovník maximálně 30 dní. V tomto čase musí zkontrolovat správnost údajů v žádosti, dále se ujistit o dostupnosti volné kapacity na DTS v připojované oblasti. Tuto kapacitu určuje například poměr stávajícího rezervovaného výkonu vůči instalovanému výkonu transformátoru v DTS. Pokud jsou splněny veškeré podmínky, dojde k posouzení vlivu připojovaného zdroje do DS. Vliv je, v závislosti na kategorii zdroje, vyhodnocován dle podmínek v následujících sekcích. V případě kladného výsledku posouzení dojde ke schválení žádosti. [2]

#### **2.1.4 Podmínky připojení zdroje skupiny A1 bez přetoků**

O zdroji ze skupiny A1 lze také hovořit jako o mikrozdvoji, i když to není úplně pravda. Příloha 4 PPDS ho definuje jako takto: „*jednofázový nebo třífázový zdroj (výrobna) včetně jejich souvisejících zařízení pro výrobu elektřiny, určená pro paralelní provoz s DS nn; se jmenovitým střídavým fázovým proudem do 16 A na fázi včetně a celkovým maximálním instalovaným výkonem do 10 kW včetně.*“ [2]

O připojení bez přetoků se jedná, pokud je hodnota rezervovaného výkonu nulová. Vzhledem k současně využívané technologii nelze této podmínky zcela dosáhnout. Z tohoto důvodu se tolerují maximální provozní přetoky 115 W, podle ERU [4]. Například ČEZ Distribuce toleruje maximální přetoky do 300 W. [5]

Připojení zdrojů tohoto druhu se schvaluje ve zjednodušeném režimu, kdy je zapotřebí doložit technické parametry zdroje a revizní zprávu s ověřenou impedancí v předávacím místě. Maximální jmenovitý výkon zdroje se odvíjí od změřené hodnoty impedance v předávacím místě:

- pro hodnoty nižší nebo rovny  $0,47 \Omega$  je možné připojení třífázového mikrozdvoje s výkonem do 10 kW nebo, při jednofázovém, 3,7 kW
- pro hodnoty nižší nebo rovny  $0,75 \Omega$  je možné připojení třífázového mikrozdvoje s výkonem do 6,9 kW nebo, při jednofázovém, 2,3 kW. [2]

#### **2.1.5 Podmínky připojení zdroje s přetoky ze skupiny A**

Během schvalovacího procesu se ověřuje vliv výroby na síť po jejím připojení, při kterém nesmí dojít v předávacím místě ke změně napětí o více než 3 %. Posouzení musí probíhat s ohledem na skutečnou hodnotu napětí v předávacím místě. [2]



Jednofázové zdroje mohou být povoleny s maximálním instalovaným výkonem 3,7 kW. Toto omezení má docílit nižšího ovlivnění symetrie napětí. [2]

Po schválení samotné žádosti ještě nemůže dojít k samotnému připojení. Musí dojít k podání žádosti pro trvalá umožnění provozu. Pro to je nutné podat další žádost, ke které se přikládají další dokumenty:

- potvrzení o realizaci
- potvrzení o nastavení ochran
- revizní zpráva
- dokument výrobního modulu
- technické údaje střídače. [2]

#### **2.1.6 Podpora sítě dle PPDS Příloha 4**

Každý aktivní zdroj se musí podílet na udržování napětí. Příloha 4 PPDS z roku 2022 uvádí níže uvedené způsoby podpory sítě. Podpora sítě se rozděluje na statickou a dynamickou.

Statická podpora sítě udržuje napětí ve stanovených mezích, při pomalých změnách napětí za normálního stavu. Pokud je potřeba musí se zdroje podílet na udržení napětí v mezích pomocí jalového výkonu s rozsahem účinníku 0,9 kapacitní a 0,9 induktivní. [2]

Podpora napětí pomocí jalového výkonu v síti NN se vztahuje na výrobní moduly kategorie A1 a A2. Rozdělují se podmínky pro zdroje přímo připojené do sítě a připojené s měničem. Dále se Příloha 4 zabývá podporou napětí pomocí jalového výkonu v sítích vysokého napětí a velmi vysokého napětí. [2]

Dynamická podpora sítě udržuje napětí při poklesech napětí v síti velmi vysokého napětí a zvláště vysokého napětí. Měla by zabránit odpojení zdrojů napájející sítě nízkého napětí a vysokého napětí. Pro správnou funkčnost musí být schopné zůstat dostatečně dlouho připojené i zdroje v síti nízkého napětí. Příloha 4 definuje poruchy při kterých nesmí dojít k odpojení zdroje. Například platí pro nesynchronní výrobní kategorie A1, A2, B1, B2 a c že se nesmí odpojit v případě krátkodobého poklesu napětí o 85 % po dobu 3 s. Dále se věnuje krátkodobému přepětí, požadavkům na zkratový proud nesynchronních výrobních modulů či schopnosti startu ze tmy. [2]

Každá výrobní připojená k DS do sítě NN musí zvládnout řídit napětí pomocí činného výkonu dle ČSN EN 50549-2 a ČSN EN 50 438 ed. 2. Snížením činného výkonu se zabrání odpojení zdroje nadpětíovou ochranou. Proto je povoleno postupně snižování činného výkonu podle zvyšujícího se napětí. Tato funkce, aby byla aktivována musí být odsouhlasena PDS. [2]

Pokud tato funkce není aktivní dochází k odpojení zdroje pomocí nadpět'ových ochran, které jsou nastaveny viz Tabulka 2-2.

Tabulka 2-2 Hodnoty nastavení nadpět'ových ochran [18]

Parametr		Nastavení pro vypnutí	Zpoždění [s] <sup>(2)</sup>
Nadpětí 3. stupeň	U >>>	1,2 Un	0,1
Nadpětí 2. stupeň <sup>(7)</sup>	U >>	1,15 Un	5
Nadpětí 1. stupeň <sup>(1)</sup>	U >	1,11 Un	0

Řízení jalového výkonu u zdrojů pod 100 kVA řídí autonomně podle varianty v Příloze 4 PPDS. [2]

### 2.1.7 Změna podmínek pro připojení zdroje do DS

Podle současných platných pravidel se zdroje posuzují dle hodnoty rezervovaného a instalovaného výkonu. Tento způsob více odráží parametry jednotlivého zdroje. V druhé polovině roku 2022 skončila platnost předpisu posuzování zdrojů, která vycházela pouze z výkonové hodnoty instalovaných střídačů. Tento způsob do značné míry omezoval připojení nových zdrojů, jelikož maximální výkonová hodnota střídačů bývá vyšší než rezervovaný či instalovaný výkon zdroje. Docházelo tedy k neodpovídajícímu snížení kapacity sítě.

## 2.2 Novela Energetického zákona - Lex OZE I

Novela energetického zákona (zákon č. 19/2023 Sb.), která nabyla (vzhledem k tvorbě této práce) nedávno (24.1.2023) účinnosti. Tato novela se věnuje komunitní energetice v rámci bytových domů. Dále mění výkonovou hranici zdroje pro nutnost zřízení licence od ERÚ z 10 kW na 50 kW. Stejný limit nově platí i pro nutnost územního souhlasu a rozhodnutí o umístění stavby. Novela také upravuje zdroje s instalovaným výkonem nad 1 MW jako stavby veřejného zajmu. [6][7]

## 2.3 Novela Energetického zákona - Lex OZE II

Další aktuálně projednávaná novela energetického zákona, rozšiřuje již zmíněnou novelu Lex OZE I. Definuje například pojmy energetického společenství, společenství pro obnovitelné zdroje, ustanovuje vznik Energetického datového centra. Je třeba napsat, že novela nebyla v současné podobě schválena a byla vrácena k přepracování. V následujících odstavcích bude zjednodušeně rozvedena stávající verze. [8]

### **2.3.1 Energetické společenství a společenství pro obnovitelné zdroje**

V energetickém společenství mohou být například fyzické osoby, mále podniky a územní samosprávné celky. Účelem takového společenství není vytvářet zisk, ale sdílení energie, která byla vyrobena pomocí obnovitelných zdrojů. Společenství je kontrolováno samotnými členy, jež rozhodují o vnitřní struktuře společenství a finančního vyrovnávání. [8]

Druhé společenství je téměř stejné s rozdílem možnosti operovat i s tepelnou energií. Rozdíl je také kdo kontroluje samotné společenství. V prvním případě může kontrolovat společenství každý člen, ve druhém případě můžou kontrolovat společenství pouze členové žijící v blízkosti komunitních zdrojů. Takový člen jen ten, který má bydliště nebo sídlo v okrese s umístěním největšího množství komunitních zdrojů. [8]

Oboje společenství mají povinnost ohlásit svou činnost ERÚ a zapsat se do Energetického datového centra, které by mělo být v provozu od 1.1.2024. Pokud společenství disponuje výrobkami do 50 kW smí prodávat energii, nespotřebovanou v rámci společenství, pouze obchodníkovy s elektřinou. [8] [9]

## 3. SCÉNÁŘE CHOVÁNÍ ODBĚRATELŮ A VÝROBCŮ EL. ENERGIE

V této kapitole se práce bude věnovat popisu výkonového rozložení v čase u běžných odběratelů a výrobců el. energie ve zvolené oblasti, viz kapitola 4. Získání dat jednotlivých uživatelů o jejich spotřebě a výrobě není reálné, jelikož jsou tyto odběry, z větší míry<sup>2</sup>, měřeny klasickým způsobem a jejich odečet probíhá jednou ročně. Proto bylo přistoupeno k jejich generalizaci, aby bylo možné stanovit jejich chování během roku. V následujících podkapitolách budou přiblíženy jednotlivé skupiny uživatelů a jejich očekávané scénáře chování v rámci DS.

### 3.1 Spotřebitel

Pro analýzu v praktické části této práce je nutné zjistit předpokládaný průběh spotřeby v průběhu roku, během všedního dne a víkendu.

Z charakteru vybrané oblasti je zřejmé, že hlavní spotřebiteli jsou rodiny s dětmi a domácnost s nepracujícími dospělými v důchodovém věku.

Výsledný scénář bude vycházet ze dvou vzájemně se doplňujících modelů. Prvním modelem jsou typizované diagramy dodávky, ze kterých budu využívat pouze průběhy ze třídy 4, 5 a 7.

Druhý model využívá výsledky z diplomové práce Ing. Pavly Hudcové [10], která se zabývala modelováním spotřeby elektrické energie běžných uživatelů.

#### 3.1.1 Typové diagramy dodávek (TDD)

Spotřeba typizovaného spotřebitele je nastíněna pomocí normalizovaného TDD. Tyto diagramy zobrazují očekávaný hodinový průběh spotřeby elektrické energie v průběhu celého roku. Rozdělují se celkem do osmy tříd, viz Tabulka 3-1. Ty jsou rozděleny podle typu zákazníka a jeho sazby.

Normalizované TDD slouží jako odhad spotřeby elektrické energie a jsou tvořeny pro každý rok. Aby se zamezilo větším nepřesnostem při jejich tvorbě, probíhají detailní měření u vybraných odběrných míst. TDD se nevytváří pouze z dat spotřeby, ale i z dat teploty okolí. Pro výpočet normalizovaného TDD se využívá normálová teplota. Tu stanovuje ČHMÚ. Jedná se o průměrnou denní teplotu vzduchu  $t$  let 1981 – 2010. Hodnota je počítána pro každý jeden den. [16][17]

---

<sup>2</sup> Většina spotřebitelů v současné době disponuje měřením typu C.

Pro všechny třídy TDD kromě páté třídy je počítáno s republikovou normálovou teplotou. Pátá třída se nadále dělí na osm podtříd:

- Jižní Čechy
- Střední Čechy
- Východní Čechy
- Západní Čechy
- Severní Čechy
- Jižní Morava
- Severní Morava
- Praha.

Pro tyto oblasti se využívá normálová teplota dané oblasti.

Ve vybrané oblasti, viz kapitola 4, lze očekávat hlavně zákazníky, kategorie maloodběratel, se sazbou D02d, D25d a s menším zastoupením i D57d která nahradila sazbu D45d. Odběratel kategorie D je „fyzická osoba, jejíž odběrné místo je připojeno k distribuční soustavě s napětím mezi fázemi do 1 kV včetně a která odebírá elektřinu k uspokojování její osobní potřeby související s bydlením nebo osobních potřeb členů její domácnosti; za odběratele kategorie D se považuje i fyzická nebo právnická osoba v rozsahu odběru elektřiny pouze pro potřeby správy a provozu společných částí domu sloužících pouze pro společné užívání vlastníků nebo uživatelům bytů.“ [19]

Odběratel kategorie A je připojen k přenosové soustavě nebo do distribuční soustavy s napětím mezi fázemi nad 52 kV. Odběratel kategorie B je ten, který je připojen do distribuční soustavy s napětím mezi fázemi od 1 kV do 52 kV. Odběratel kategorie C je ten, který nesplňuje podmínky pro ostatní kategorie. [19]

Tabulka 3-1 Třidy typových diagramů dodávek [14]

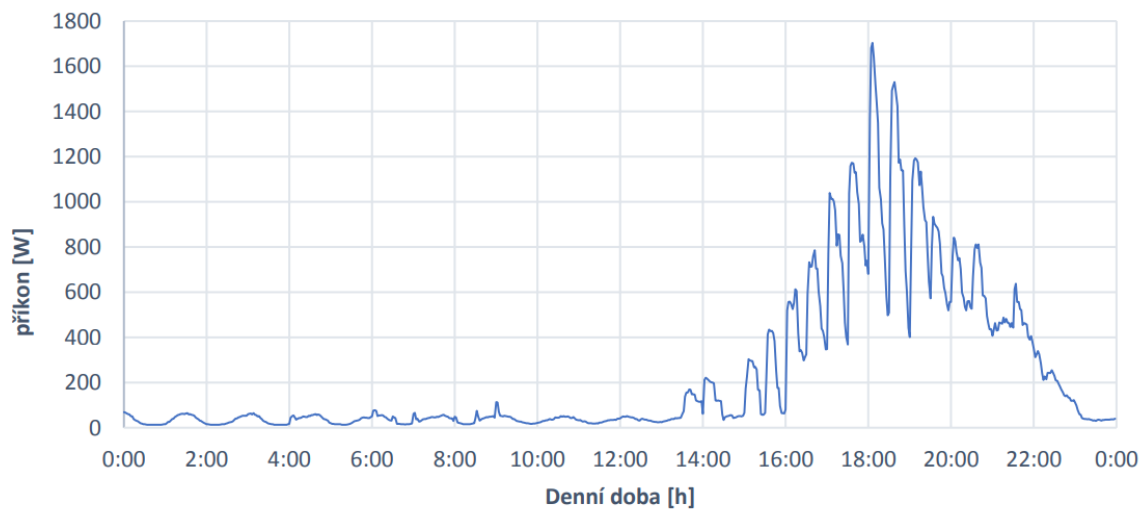
Třída	Typ zákazníka	Charakter odběru	Pevné ceny distribuce podle cenového rozhodnutí Úřadu
1	Odběratel kategorie C	– odběr bez tepelného využití elektřiny	– C01d, C02d, C03d
2	Odběratel kategorie C	– odběr s akumulacním spotřebičem – odběr s hybridním vytápěním	– C25d, C26d, C35d
3	Odběratel kategorie C	– odběr s přímotopným systémem vytápění – odběr s tepelným čerpadlem	– C45d, C55d, C56d
4	Odběratel kategorie D	– odběr bez tepelného využití elektřiny	– D01d, D02d, D61d
5	Odběratel kategorie D	– odběr s akumulacním spotřebičem	– D25d, D26d
6	Odběratel kategorie D	– odběr s hybridním vytápěním	– D35d
7	Odběratel kategorie D	– odběr s přímotopným systémem vytápění – odběr s tepelným čerpadlem	– D45d, D55d, D56d
8	Odběratel kategorie C	– odběr pro veřejné osvětlení	– C62d

### 3.1.2 Model chování rodiny s dětmi

V tomto scénáři se uvažuje čtyřčlenná rodina, tedy dva dospělí a dvě děti školního věku. U tohoto druhu odběratele se bude významně měnit spotřeba energie v průběhu týdne. Prvním předpokladem scénáře je, že oba dospělí pracují pouze na jednu směnu, tedy v intervalu od 6 hodin do 15 hodin a obě děti dochází do školy.

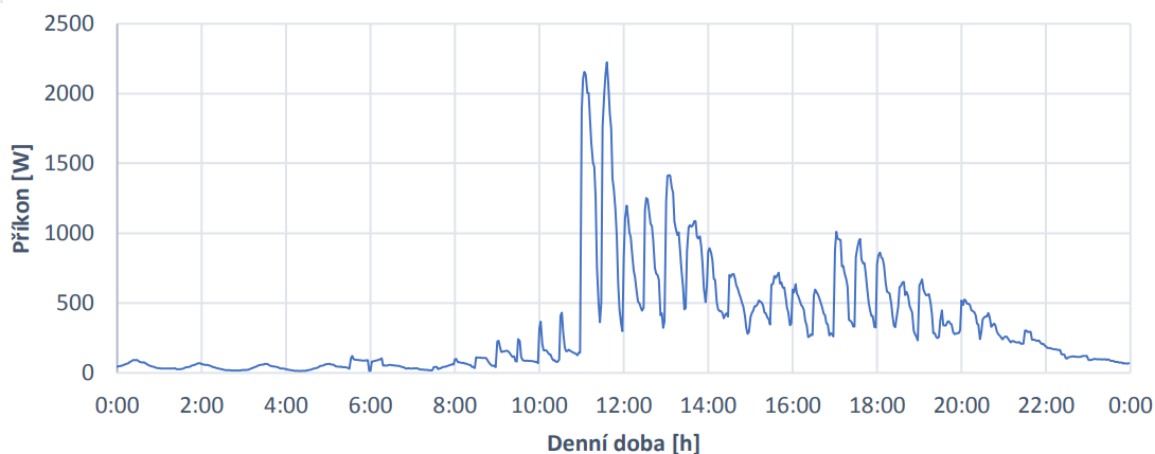
V tomto případě můžeme jednoznačně říci, že průběh spotřeby energie se bude lišit v závislosti na druhu dne. Tedy rozdílné průběhy během všedních dnů a víkendu, popřípadě svátečních dnů. Pro zjednodušení zde nebude zahrnuta možná dovolená.

V prvním převzatém grafu, který simuluje spotřebu v průběhu všedního dne, lze pozorovat postupný nárůst spotřeby po 14 hodině, kdy se předpokládá návrat domů. K maximální spotřebě dochází okolo 18 hodiny, kdy se předpokládá využití více spotřebičů najednou. Poté spotřeba kontinuálně klesá až do 23 hodiny.



Obrázek 3-1 Průběh spotřeby během všedního dne u rodiny s dětmi [10]

Druhý graf simuluje spotřebu v průběhu víkendového dne. Na něm je patrný výrazný nárůst v průběhu poledne, kdy lze předpokládat že se jedná o spotřebu způsobenou vařením. Následně dochází k poklesu až do 17 hodiny dochází k nárůstu a následnému poklesu až do 23 hodiny. K usnadnění analýzy v praktické části práce se vychází z předpokladu, že odběratelé v důchodu, trvale obývající rodinný dům, budou mít stejný průběh spotřeby během celého týdne jako rodina s dětmi o víkendu.



Obrázek 3-2 Průběh spotřeby během víkendu u rodiny s dětmi [10]

## 3.2 Spotřebitel s instalovaným zdrojem

Tato podkapitola přiblíží možné chování spotřebitele s instalovaným zdrojem s možností bateriového systému. V tomto případě se bude vycházet z poznatků předešlé podkapitoly

### 3.2.1 Pouze zdroj

Pokud má spotřebitel instalován pouze zdroj, jeho využití je vcelku omezené. V tomto případě většinou dochází k posílání veškerého výkonu do sítě. Spotřebitel tedy nevyužívá zdroj k vlastní spotřebě, ale má ho pouze jako ekonomický zdroj.

Další způsob, jak už vyplývá z předchozího odstavce, je využití zdroje převážně k vlastní spotřebě. Tento způsob není velmi využíván. Jeho nedostatkem je nesynchronizovanost výroby a spotřeby. V průběhu maximální výroby zdroje nedochází k jejímu zpracování v rámci odběrného místa a je posílána do sítě. V době, kdy je energie potřeba, primárně v průběhu večera, již zdroj negeneruje dostatek, popřípadě žádnou, elektrickou energii. Toto lze ověřit na grafech Obrázek 3-3 a Obrázek 3-4 kde si můžeme porovnat předpokládanou výrobu energie ze zdroje a spotřebu odběratele v průběhu dne.

Tento nedostatek zmírní instalace bateriového systému, viz následující sekce.

### 3.2.2 Zdroj s bateriovým systémem

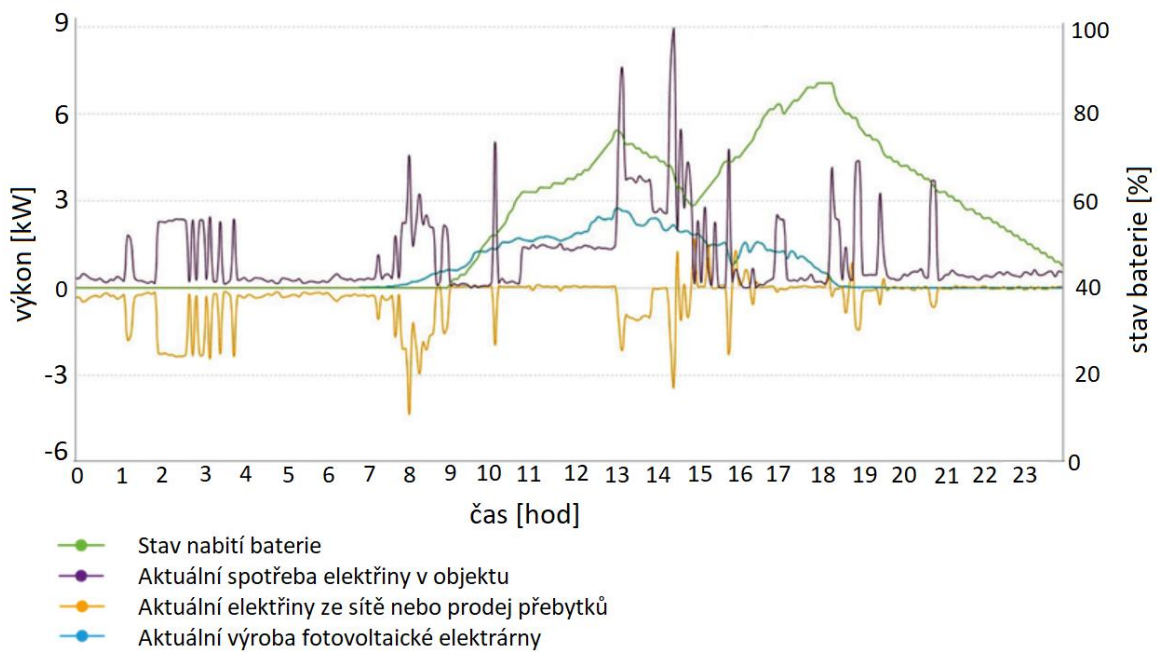
Využití bateriového systému spolu se zdrojem energie přináší uživateli značné výhody. Dochází k uložení vyrobené energie v bateriích a následně k jejímu využití v časech kdy je potřeba a zdroj neprodukuje dostatečné množství energie, nebo nevyrábí vůbec.

Ačkoliv se může zdát, že bateriový systém vyřeší veškeré problémy s využitím přebytečné energie z FVE, není tomu tak. Nabití baterií z elektrárny proběhne většinou ještě před dosažením maximálního výkonu elektrárny. To je dáno velikostí současných bateriových systémů, která se pohybuje v rozmezí 5 – 10 kWh<sup>3</sup>.

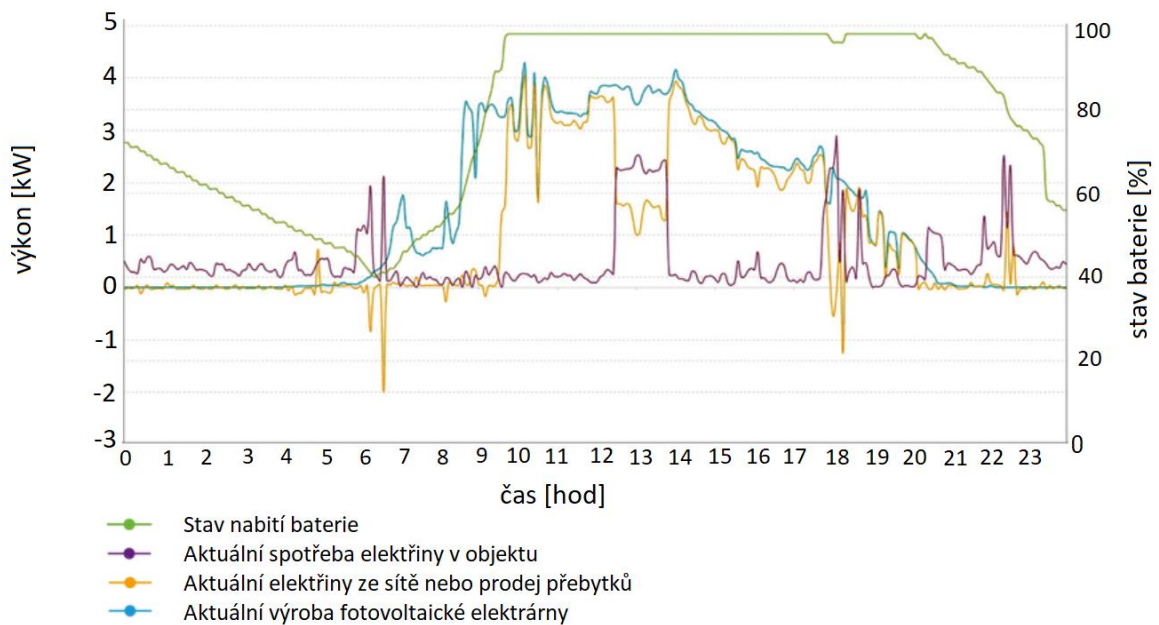
---

<sup>3</sup> Tento rozsah hodnot je vypočítán z interních dat od společnosti EG.D, a.s.



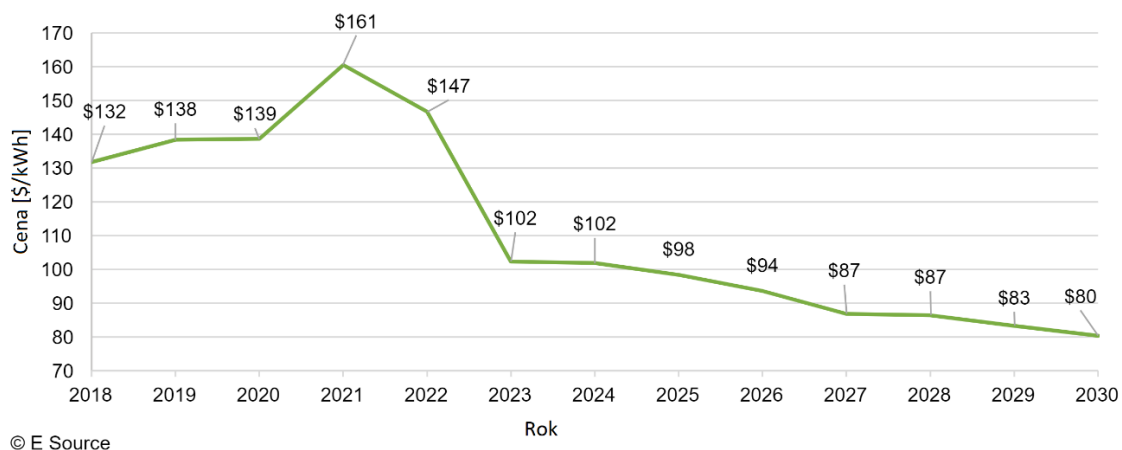


Obrázek 3-3 Energetická bilance skutečného spotřebitele s fotovoltaickou elektrárnou a bateriovým systémem 09.03.2021 [12]



Obrázek 3-4 Energetická bilance skutečného spotřebitele s fotovoltaickou elektrárnou a bateriovým systémem 21.06.2021 [12]

Díky technologickému pokroku ve výrobě baterií a rozšíření elektromobility, lze očekávat snížení ceny baterií, viz Obrázek 3-5. Čímž by mohlo dojít k nárůstu instalovaného výkonu bateriového systému. Tím by se zvýšila využitelnost samotné elektrárny pro spotřebitele, s nižšími přetoky do sítě



Obrázek 3-5 Očekávaná cena baterií za kWh [11]

## 4. ŘEŠENÁ OBLAST

Z důvodu nutné anonymizace dat nemohou být uvedeny jakékoliv bližší informace, které by mohli vést k identifikaci oblasti a jednotlivých odběratelů. Z tohoto důvodu je nutná kompletní anonymizace dat v programu Grizzly. V praxi je běžné přikládat ke schématu infrastruktury zároveň i podkladovou mapu.



Obrázek 4-1 Kabelové schéma řešené oblasti

## 4.1 Vstupní body

Distribuční síť je napájena celkem ze sedmi transformačních stanic s celkovým počtem devíti distribučních transformátorů. Veškeré rozvody NN sítě jsou kabelové. Celá NN síť oblasti je provozována jako paprsková.

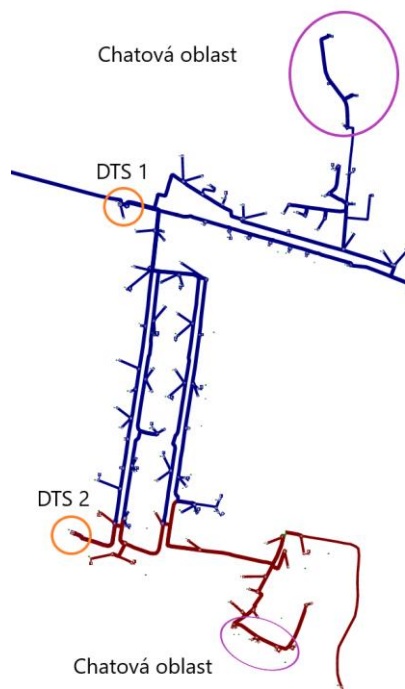
Oblast je rozdělena do sedmi částí, podle rozsahu jednotlivé DTS. Tyto části jsou snadno rozlišitelné dle barev, jak lze pozorovat na Obrázek 4-1.

## 4.2 Typové rozložení objektů v oblasti

Oblast se nachází v jihočeském kraji. Výrazně v ní převažuje zástavba rodinných domů či statků se sedlovou střechou, které jsou typické pro oblast jižních Čech. Dále se zde vyskytují chatové oblasti, industriální zóna a objekty občanské vybavenosti jako je obchod, obecní úřad, škola atd.

### Západní oblast

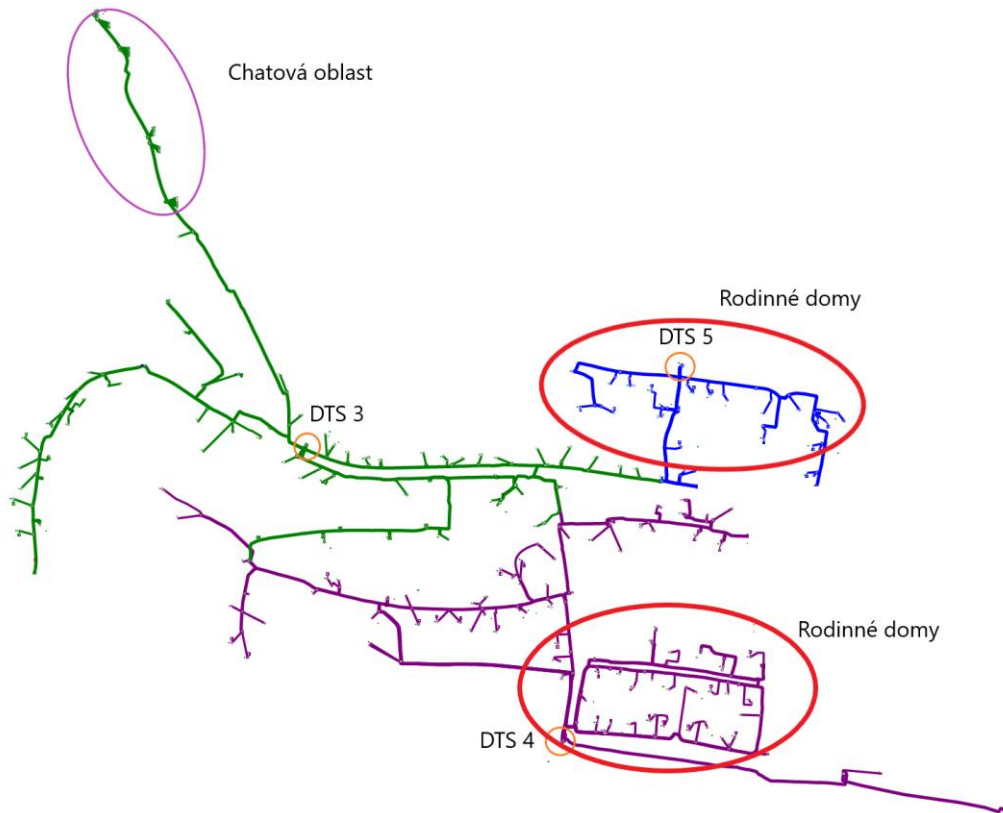
V této oblasti se primárně nachází rodinné domy a statky, také se zde nachází chatové oblasti. Tato část obce je napájena ze dvou DTS s dvěma osazenými transformátory o jednotlivém výkonu 250 kVA.



Obrázek 4-2 Kabelové schéma západní oblasti

## Centrální oblast

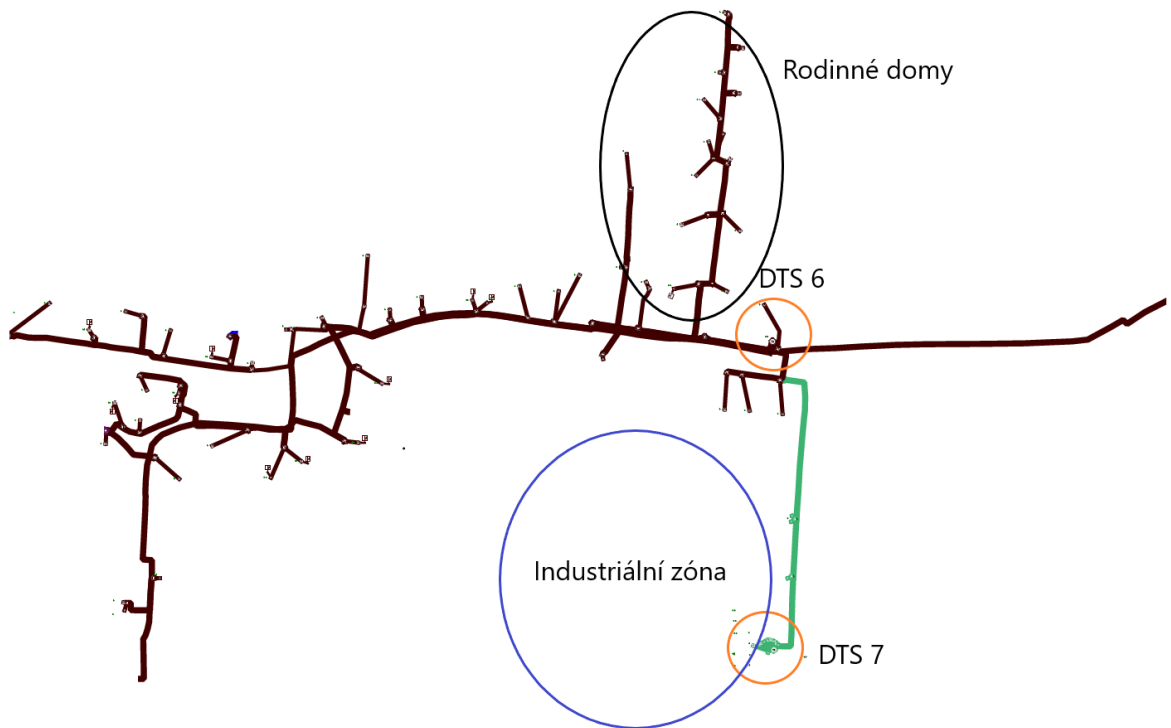
V jižní a severní části se nachází rodinné domy, zbytek je tvořen statky a objekty občanské vybavenosti. Oblast je napájena celkem ze tří DTS s čtyřmi osazenými transformátory. Výkony transformátorů se pohybují od 250 kVA do 630 kVA.



Obrázek 4-3 Kabelové schéma centrální oblasti

## Východní oblast

Na severu se nachází zástavba z rodinných domů. Jižní část je obsazena menší industriální zónou. Oblast je napájena celkem ze dvou DTS s třemi osazenými transformátory. Výkony transformátorů se pohybují od 250 kVA do 400 kVA.



Obrázek 4-4 Kabelové schéma východní oblasti

## 5. NÁVRH KRITICKÝCH STAVŮ

Kritický stav sítě lze zjednodušeně vyjádřit jako hraniční stav pro připojení nových zdrojů do DS. Kritické stavy budou, pro zjednodušení, generalizovány pro určité období v roce například pro měsíce červen a červenec. V každém zvoleném období jsou vytvořeny dva návrhy, jeden ve všední den a druhý o víkendu. Kritické stavy jsou ovlivněny mnoha aspekty, těmi jsou například:

- umístění fotovoltaických elektráren v DS
- zeměpisná poloha
- orientace fotovoltaických elektráren
- instalovaný výkon
- využití přebytečné energie
- počasí
- časový průběh a intenzita ozáření elektrárny.

Z důvodu nedokonalé predikce počasí se ve zbytku práce bude vždy uvažovat nejhorší případ, tedy za jasného počasí (obloha bez mraků).

### 5.1 Zhodnocení vlivu jednotlivých faktorů

#### 5.1.1 Umístění fotovoltaických elektráren v DS

Umístění elektrárny v DS se rozumí její kabelová vzdálenost od DTS. Za normálních podmínek dochází k toku výkonu od DTS na konce jednotlivých paprsků. Se zvyšující vzdáleností místa připojení od DTS a postupnému snižování průřezu kabelů dochází ke zvýšení impedance vedení. Od její velikosti se odvíjí celkový napěťový příspěvek připojované fotovoltaické elektrárny, tedy o kolik se zvýší napětí v místě jejího připojení. To lze jednoduše demonstrovat pomocí programu Grizzly.

V následující tabulce jsou znázorněny výsledky simulace pro připojení zdroje s instalovaným výkonem 10 kWp. Simulace proběhla pro tři příklady:

- krátká elektrická vzdálenost od DTS s kabelem jednotného průřezu (NAYY 4x150)
- dlouhá elektrická vzdálenost od DTS s kabelem jednotného průřezu (NAYY 4x150)
- dlouhá elektrická vzdálenost od DTS s kabely rozdílného průřezu (NAYY 4x150 – 300 m a NAYY 4x50 – 55 m)

Tabulka 5-1 Rozdíl napětí před a po připojení zdroje s instalovaným výkonem 10 kWp v závislosti na použitém průřezu kabelu jeho vzdálenosti od DTS

Elektrická vzdálenost	Napětí před připojením	Napětí po připojením	Poměrný rozdíl napětí
[m]	[V]	[V]	[%]
35	230,9	231,1	0,096
355	230,9	232,0	0,480
355	230,9	232,3	0,629

### 5.1.2 Zeměpisná poloha

Samotné umístění elektrárny v rámci republiky se může zdát jako zanedbatelný rozdíl, avšak i to hraje svou roli. Jako příklad lze uvést rozdíl mezi jihem Moravy a severem Čech v úhrnném ročním osvitě na Obrázek 5-1.



Obrázek 5-1 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [13]

### 5.1.3 Orientace fotovoltaických elektráren

Dalším parametrem, který je potřeba uvažovat ve výpočtu je směr orientace fotovoltaické elektrárny. Důvod jeho uvažování je zcela zřejmí, největšího energetického zisku, v našich podmínkách, dosahují elektrárny orientované na jih. U elektráren s orientací na východ či západ klesá jejich energetický zisk zhruba o 20 %. Jedná se o porovnání z ročního součtu, při porovnání v jednotlivých měsících se rozdíly pohybují v rozmezí od 8 % do 45 %.

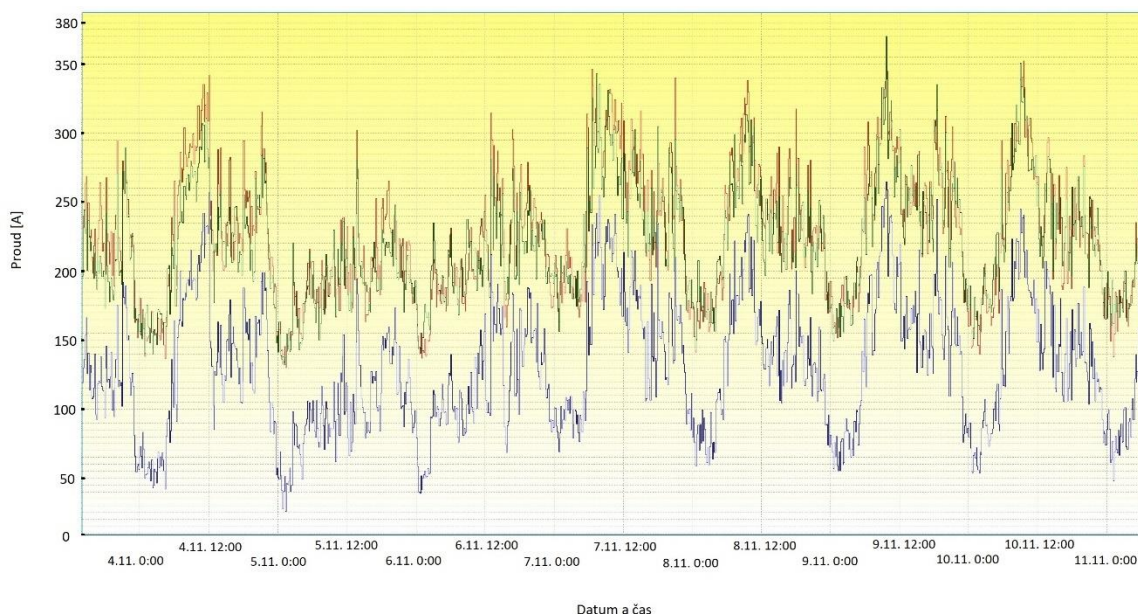


#### 5.1.4 Instalovaný výkon

Instalovaný výkon po propojení s ostatními faktory udává, jak velký bude energetický zisk a jak ovlivní samotnou síť. Proto je pro budoucí výpočty zásadní znát jednotlivé instalované výkony každé připojené elektrárny. Tyto hodnoty byly pro účel práce poskytnuty distributorem.

#### 5.1.5 Využití přebytečné energie

Využití vyrobené energie z elektrárny může velmi výrazně ovlivňovat kritické stavy sítě. V ideálním případě, kdy by byla veškerá, nebo výrazná většina, energie spotřebována v místě připojení, nedocházelo by vůbec ke kritickým stavům sítě popsaných v této práci. V reálném prostředí tento stav však nenastává a lze jednoduše ověřit. Na Obrázek 5-2 je znázorněn průběh proudového zatížení reálné DTS během jednoho týdne. Trafostanice je osazena transformátorem o výkonu 400 kVA, jeho maximální proudové zatížení je tedy 630 A. Je zřejmé že při maximální odběru je transformátor zatížen na 55 % a to pouze v jedné fázi. Nutné je podotknout že k dané DTS není připojen žádný zdroj.



Obrázek 5-2 Proudové průběhy měřené DTS během týdne

K lepšímu využití vyrobené energie jednoznačně pomáhají bateriové systémy. U nově vznikajících fotovoltaických elektráren už bývají tyto systémy samozřejmostí. Pro budoucí rozvoj může hrát roli i centrálně říditelná zátěž jako je například ohřívač TUV.

### 5.1.6 Časový průběh a intenzita ozáření

Hlavní úlohu při vyhledávání kritického stavu hraje časové rozložení intenzity ozáření elektrárny. Výkonnostní křivka během dne se budou lišit s ohledem na orientaci elektrárny. Jako první dosáhnou výrobního maxima elektrárny osazené na východ, poté ty s orientací na jih a jako poslední elektrárny orientované na západ.

## 5.2 Analýza časového průběhu intenzity ozáření

Pohyb slunce po obloze se mění každý den, z toho vyplývá, že by mělo dojít k posouzení kritických stavů každého dne. Tento výpočet by byl ovšem velmi časově náročný, a proto se použije zjednodušení v podobě generalizace pouze na měsíce, popřípadě sloučení více měsíců dohromady. Pro tento účel byla použita data z programu PVGIS, který vykresluje průměrný časový průběh ozáření v průběhu dne. V následujících bodech budou názorně rozebrány dva průběhy.

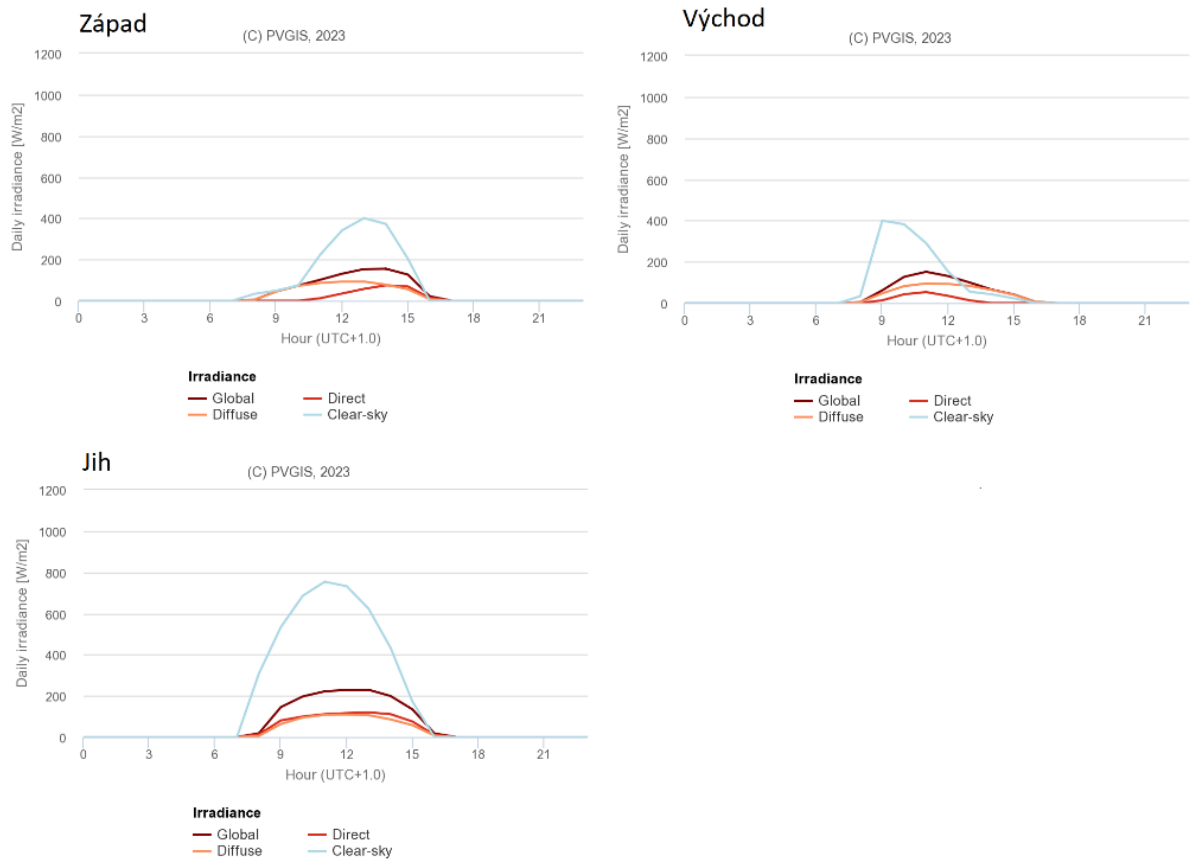
### 5.2.1 Leden

Jedná se o měsíc s nejnižší hodnotou celkového ozáření, společně s prosincem. Oproti červenci je jeho energetický potenciál čtvrtinový. Průměrná délka dne je osm hodin a čtyřicet dva minut. Jedná se čas od úsvitu po západ slunce. V kombinaci nízkého pohybu slunce po obloze a krátkému času nedosahují fotovoltaické elektrárny plného potenciálu ani během nejpříznivějších podmínek.

Na Obrázek 5-3 lze pozorovat průměrné ozáření ve zvolené oblasti během měsíce ledna. Jednotlivé obrázky zobrazují ozáření v daném azimutu. Dle očekávání je u zdroje s jižní orientací nejvyšší hodnota ozáření. Zajímavější pohled je na časové uspořádání. Při orientaci na východ bude elektrárna generovat elektrickou energii mezi desátou a dvanáctou hodinou. Oproti tomu při orientaci na západ dojde ke generování elektrické energie mezi dvanáctou a třetí hodinou odpoledne. Elektrárna orientovaná na jih generuje elektrickou energii mezi devátou hodinou ráno a třetí hodinou odpoledne. Množství vyrobené energie bude však minimální ve všech případech.

Po uvážení všech tří průběhů ozáření lze vyvodit časové s největším množstvím generované elektrické energie. V tomto případě to tyto časové úseky:

- od 10:30 – 12:30
- od 13:00 – 15:00.



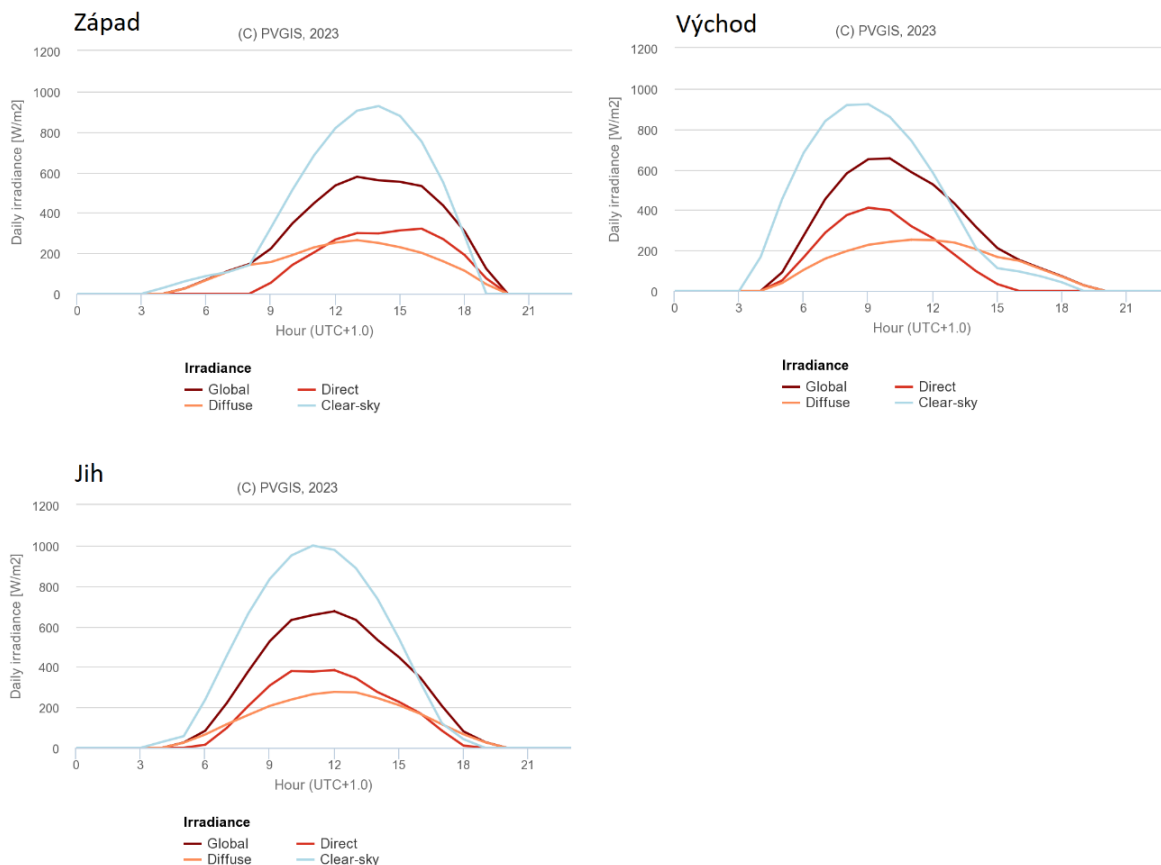
Obrázek 5-3 Očekávané ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce ledna [15]

## 5.2.2 Červenec

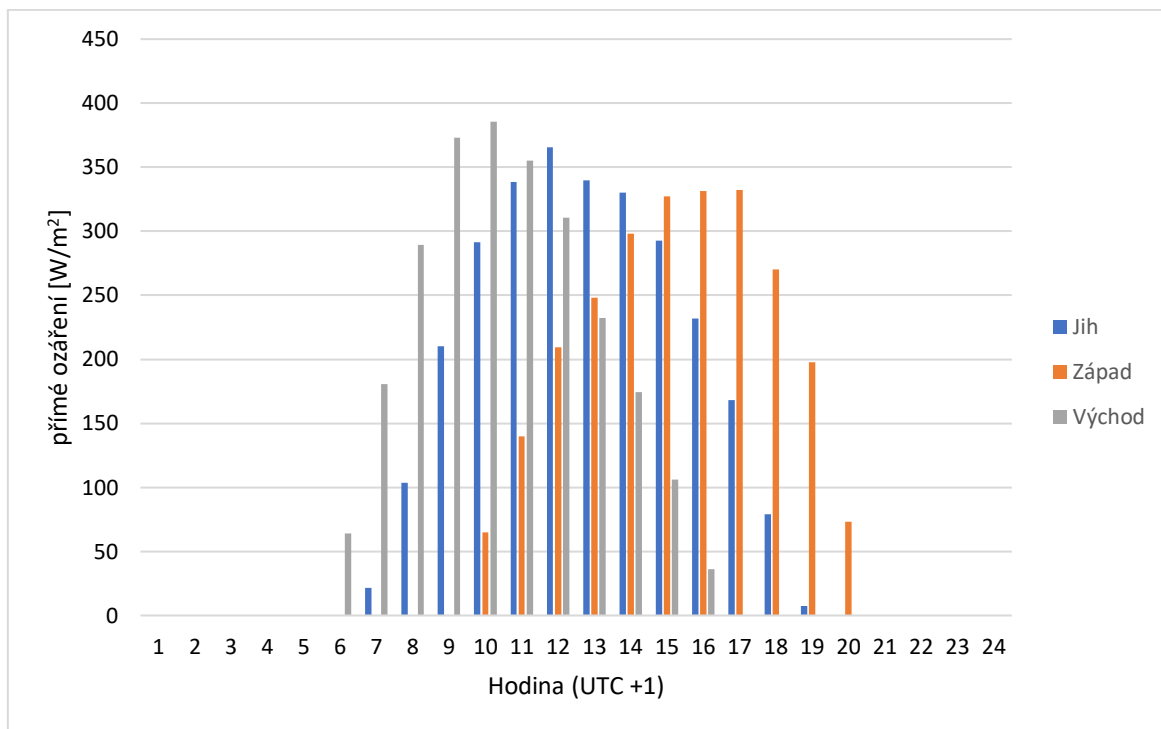
Červenec společně s červnem patří mezi měsíce s největším energetickým ziskem z fotovoltaických elektráren. Průměrný den trvá v červenci patnáct hodin a čtyřicet pět minut.

Na Obrázek 5-4 lze pozorovat průměrné ozáření ve zvolené oblasti během července s různou orientací elektrárny. Elektrárna s orientací na východ začíná generovat energii okolo páté hodiny ranní a maxima dosahuje přibližně mezi půl osmou a jedenáctou hodinou. Nadále však generuje energii až do třetí hodiny odpoledne. Oproti tomu elektrárna s orientací na západ začíná generovat energie až kolem deváté hodiny ráno a v maximu se nachází přibližně mezi dvanáctou a čtvrtou hodinou odpoledne. Dále generuje energii až sedmé hodiny večer. Elektrárny s jižní orientací začínají generovat energii později než východní, a to po šesté hodině ranní. V maximu se nacházejí mezi devátou a druhou hodinou odpoledne. Následně výroba klesá až do šesté hodiny večer.

Vyhledání času s maximální výrobou elektrické energie je náročnější, jelikož se elektrárny s různou orientací časově prolínají. Pro lepší orientaci byl vytvořen Obrázek 5-5 Očekávané přímé ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce července dle orientace [15]



Obrázek 5-4 Očekávané ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce července [15]



Obrázek 5-5 Očekávané přímé ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce července dle orientace [15]

## 6. VYHODNOCENÍ OBLASTI - DTS 5

V této kapitole se práce věnuje simulaci pro DTS 5. S ohledem na plynofikaci se v oblasti očekává větší míra spotřebitelů s distribuční sazbou D02d a menší zastoupení spotřebitelů se sazbou D25d. Pro stanovení míry spotřeby v čase se budou uvažovat TDD kategorie 4 a 5. Simulace proběhla pro model bez započítání spotřeby a pro model počítající pouze se zdroji bez bateriového úložiště. Simulace proběhla pro měsíce červenec pro všední den.

### 6.1 Pouze zdroje - červenec

Simulace proběhla pro všechny zvýrazněné zdroje na Obrázek 6-1, bez spotřeby připojených uživatelů a pro jmenovité hodnoty napětí.



Obrázek 6-1 Fotovoltaické elektrárny v oblasti

Z tabulky můžeme vyčíst, že napětí před připojením zdrojů je stejné pro všechny. Po následném připojení došlo k nárůstu napětí v OM. Z posledního sloupce v Tabulka 6-1 lze odvodit, že jsou splněny podmínky PPDS.

Tabulka 6-1 Výsledky simulace pro zdroje bez zátěže

Typ	Jméno	Stanice	Jmen. činný výkon [kW]	V před připojením [V]	V po připojení [V]	dV o [%]
Injekce	<a href="#">5A1 jih</a>	<a href="#">5a23</a>	10,000	230,9	233,3	1,046
Injekce	<a href="#">5B7 jih</a>	<a href="#">5b101</a>	10,000	230,9	237,0	<b>2,647</b>
Injekce	<a href="#">5B8 jih</a>	<a href="#">5b102</a>	10,000	230,9	237,0	<b>2,652</b>
Injekce	<a href="#">5A2 jih S</a>	<a href="#">5a22</a>	10,000	230,9	233,2	1,001
Injekce	<a href="#">5A3 východ 10</a>	<a href="#">5a31</a>	10,000	230,9	233,9	1,296
Injekce	<a href="#">5B5 východ 10</a>	<a href="#">5b31</a>	10,000	230,9	234,0	1,362
Injekce	<a href="#">5B4 západ 10</a>	<a href="#">5b21</a>	10,000	230,9	233,3	1,060
Injekce	<a href="#">5B1 východ 10</a>	<a href="#">5b151</a>	10,000	230,9	234,5	1,577
Injekce	<a href="#">5B3 východ 10</a>	<a href="#">5b181</a>	10,000	230,9	234,9	1,727
Injekce	<a href="#">5B2 východ 10</a>	<a href="#">5b191</a>	10,000	230,9	234,9	1,741
Injekce	<a href="#">5B9 jih</a>	<a href="#">5b122</a>	10,000	230,9	237,5	<b>2,857</b>
Injekce	<a href="#">5B10 jih</a>	<a href="#">5b121</a>	10,000	230,9	237,5	<b>2,854</b>
Injekce	<a href="#">5B6 jih</a>	<a href="#">5b91</a>	10,000	230,9	236,9	<b>2,602</b>

## 6.2 Spotřebitel a spotřebitel se zdrojem - červen

Zde je pro příklad uvedena simulace případu kdy elektrárny s orientací na západ generují maximální množství energie a elektrárny na jih a východ generují tři čtvrtiny maximálního výkonu. Pro časový úsek od 12:00 do 13:00. Pro tento časový horizont byla stanovena soudobnost odběratelů na hodnotu 0,12. Tabulka 6-2 ukazuje simulaci stávajících zdrojů. V tomto případě je vidět, že užitím realističtějšího modelu chování elektrárny se zvýšila volná kapacita sítě a lze připojit další zdroje do DS.

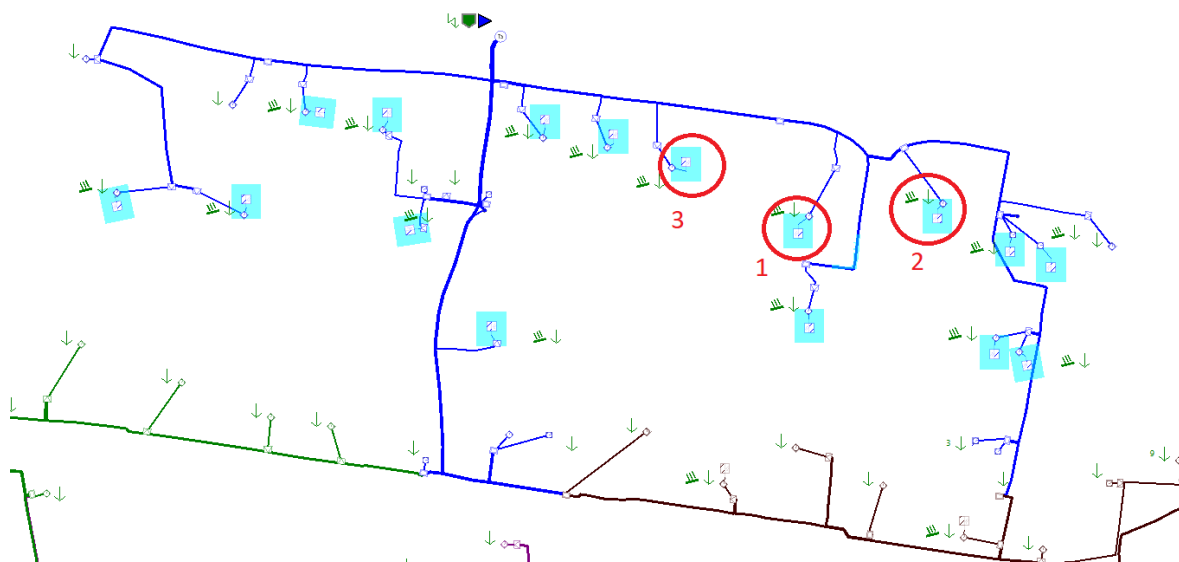
Tabulka 6-2 Výsledky simulace připojení zdrojů při započítání spotřeby

Typ	Jméno	Stanice	Jmen. činný výkon [kW]	V před připojením [V]	V po připojení [V]	dV o [%]
Injekce	<a href="#">5A1 jih</a>	<a href="#">5a23</a>	7,500	229,0	230,9	0,837
Injekce	<a href="#">5B7 jih</a>	<a href="#">5b101</a>	7,500	226,6	231,5	<b>2,101</b>
Injekce	<a href="#">5B8 jih</a>	<a href="#">5b102</a>	7,500	226,6	231,5	<b>2,105</b>
Injekce	<a href="#">5A2 jih S</a>	<a href="#">5a22</a>	7,500	229,0	230,9	0,802
Injekce	<a href="#">5A3 východ 10</a>	<a href="#">5a31</a>	7,500	228,8	231,2	1,027
Injekce	<a href="#">5B5 východ 10</a>	<a href="#">5b31</a>	7,500	228,7	231,3	1,089
Injekce	<a href="#">5B4 západ 10</a>	<a href="#">5b21</a>	10,000	228,9	230,9	0,900
Injekce	<a href="#">5B1 východ 10</a>	<a href="#">5b151</a>	7,500	228,4	231,3	1,256
Injekce	<a href="#">5B3 východ 10</a>	<a href="#">5b181</a>	7,500	228,2	231,4	1,372
Injekce	<a href="#">5B2 východ 10</a>	<a href="#">5b191</a>	7,500	228,2	231,4	1,382
Injekce	<a href="#">5B9 jih</a>	<a href="#">5b122</a>	7,500	226,3	231,5	<b>2,266</b>
Injekce	<a href="#">5B10 jih</a>	<a href="#">5b121</a>	7,500	226,3	231,5	<b>2,264</b>
Injekce	<a href="#">5B6 jih</a>	<a href="#">5b91</a>	7,500	226,9	231,7	<b>2,062</b>

V Tabulka 6-3 byla simulována situace s nově připojenými zdroji označených jako: *Nová FVE*, *Nová FVE 2* a *Nová FVE 3*. Jak je vidět, v tomto simulovaném scénáři mohlo dojít k navýšení připojených zdrojů o tři. Ale je třeba stále myslet, že záleží i na umístění zdroje v rámci sítě, z toho důvodu by mohl být počet nově připojených zdrojů rozdílný, pokud by se připojili z jiného místa. Nově přidané elektrárny jsou znázorněny na Obrázek 6-2.

Tabulka 6-3 Výsledky simulace připojení stávajících a nových zdrojů při započítání spotřeby

Typ	Jméno	Stanice	Jmen. činný výkon [kW]	V před připojením [V]	V po připojení [V]	dV o [%]
Injekce	<a href="#">5A1 jih</a>	<a href="#">5a23</a>	7,500	229,0	231,2	0,949
Injekce	<a href="#">5B7 jih</a>	<a href="#">5b101</a>	7,500	226,6	233,1	<b>2,828</b>
Injekce	<a href="#">5B8 jih</a>	<a href="#">5b102</a>	7,500	226,6	233,1	<b>2,832</b>
Injekce	<a href="#">5A2 jih S</a>	<a href="#">5a22</a>	7,500	229,0	231,1	0,915
Injekce	<a href="#">5A3 východ 10</a>	<a href="#">5a31</a>	7,500	228,8	231,5	1,140
Injekce	<a href="#">5B5 východ 10</a>	<a href="#">5b31</a>	7,500	228,7	231,7	1,282
Injekce	<a href="#">5B4 západ 10</a>	<a href="#">5b21</a>	10,000	228,9	231,4	1,093
Injekce	<a href="#">5B1 východ 10</a>	<a href="#">5b151</a>	7,500	228,4	231,7	1,449
Injekce	<a href="#">5B3 východ 10</a>	<a href="#">5b181</a>	7,500	228,2	231,8	1,564
Injekce	<a href="#">5B2 východ 10</a>	<a href="#">5b191</a>	7,500	228,2	231,8	1,575
Injekce	<a href="#">Nová FVE 3</a>	<a href="#">5b51</a>	5,000	227,4	232,9	<b>2,380</b>
Injekce	<a href="#">Nová FVE</a>	<a href="#">5b61</a>	10,000	227,5	233,1	<b>2,430</b>
Injekce	<a href="#">Nová FVE 2</a>	<a href="#">5b71</a>	10,000	227,1	232,9	<b>2,502</b>
Injekce	<a href="#">5B9 jih</a>	<a href="#">5b122</a>	7,500	226,3	233,2	<b>2,993</b>
Injekce	<a href="#">5B10 jih</a>	<a href="#">5b121</a>	7,500	226,3	233,2	<b>2,991</b>
Injekce	<a href="#">5B6 jih</a>	<a href="#">5b91</a>	7,500	226,9	233,4	<b>2,789</b>



Obrázek 6-2 Stávající a nově přidané fotovoltaické elektrárny v oblasti



## 7. ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo prozkoumat oblast připojovacích podmínek nových zdrojů, hlavně fotovoltaických, a prozkoumat nové možnosti posuzování elektráren a jejich vliv na distribuční soustavu v reálném čase.

V teoretické části došlo k představení současné legislativy ohledně podmínek pro připojení paralelního zdroje. Byly probrány nutné kroky, které musí splnit jak žadatel o nový zdroj, tak i provozovatel distribuční soustavy. Byla probrána nově schválena novela Lex OZE I, která rozšiřuje využití obnovitelných zdrojů energie pro maloodběratele a umožňuje využití komunitní energetiky v rámci bytových domů. Dále byl představen současný návrh novely Lex OZE II, který rozšiřuje předchozí novelu o využití komunitní energetiky mezi jednotlivými spotřebiteli.

Další část práce se věnovala chování spotřebitelů v síti. Došlo k rozdělení spotřebitelů do jednotlivých skupin, pro které byly vytvořeny modely jejich očekávaného chování. Pro správný odhad spotřeby elektrické energie byli využity TDD, které přehledně znázorňují spotřebu v průběhu roku.

Dále byly v práci popsány kritické stavy sítě z hlediska připojitelnosti nových zdrojů elektrické energie se zaměřením na fotovoltaické elektrárny. Byly představy faktory, které mají vliv na takových stavů. Hlavními faktory, u fotovoltaických elektráren, jsou intenzita ozáření, která se jednak mění v čase ale i podle orientace dané elektrárny a velikost impedance v místě připojení elektrárny. S rostoucím podílem fotovoltaických zdrojů bude hrát větší roli i využití přebytečné elektrické energie v rámci odběrného místa, tedy využití bateriového úložiště, jehož velikost se v současné době pohybuje v rozmezí hodnot 6 – 9 kWh.

V praktické části byly simulovány vytvořené modely na reálné oblasti v distribuční síti provozované společností EG.D, a.s. Došlo k simulování vytvořených modelů pro měsíce červenec v oblasti napájené z DTS 5. V dané oblasti je za současného stavu možno připojit třináct fotovoltaických elektráren, v daném rozmístění, s celkovým instalovaným výkonem 130 kWp. Po uvažování realističtějšího modelu chování elektráren v čase došlo k uvolnění volné kapacity sítě pro připojení dalších elektráren. Množství nových elektráren, které jde nově připojit se mění podle místa umístění elektrárny v distribuční síti.

## LITERATURA

- [1] KRČMÁŘ, Jan. JAKÝ BYL SOLÁRNÍ ROK 2022. In: Tzbinfo [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: [https://www.tzbinfo.cz/docu/clanky/0248/024855\\_01-jan-krc-ma-r-c-isl-a-2022fy-final.pdf](https://www.tzbinfo.cz/docu/clanky/0248/024855_01-jan-krc-ma-r-c-isl-a-2022fy-final.pdf)
- [2] EG.D, a.s. PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY. In: Egd [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: [https://www.egd.cz/sites/default/files/2022-09/priloha\\_4\\_praavidla\\_pro\\_paralelni\\_provoz\\_vyroben\\_a\\_akumulacnich\\_zarizeni\\_09\\_2022.pdf](https://www.egd.cz/sites/default/files/2022-09/priloha_4_praavidla_pro_paralelni_provoz_vyroben_a_akumulacnich_zarizeni_09_2022.pdf)
- [3] EG.D, a.s. Připojování decentrálních zdrojů do distribučních sítí EG.D. In: Egd [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: [https://www.egd.cz/sites/default/files/2020-12/211\\_DRS\\_podklady\\_pro\\_pripojeni\\_zdroju\\_do\\_630kVA\\_210101.pdf](https://www.egd.cz/sites/default/files/2020-12/211_DRS_podklady_pro_pripojeni_zdroju_do_630kVA_210101.pdf)
- [4] Energetický regulační úřad. Energetický regulační věstník. In: Eru [online]. 2021 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/erv112022.pdf>
- [5] REGULOVANÉ CENY PŘI PŘEKROČENÍ REZERVOVANÉHO PŘÍKONU A VÝKONU. In: Cezdistribuce [online]. 2022 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/potrebuji-vyresit/ceny-a-podminky/ceny-pri-prekroceni-rezervovaneho-prikonu-a-vykonu>
- [6] Předpis 19/2023 Sb. In: Psp [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?O=9&T=313>
- [7] MATTLOVÁ, Ivona. Novela energetického zákona – LEX OZE I. vyšla ve Sbírce [online]. In: . 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.smocr.cz/cs/novinky/a/novela-energetickeho-zakona-%E2%80%93-lex-oze-i-vysla-ve-sbirce>
- [8] Ministerstvo obchodu a průmyslu. LEX OZE II“– komunitní energetika. In: Mpo [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2023/3/02\\_LEX-OZE-II\\_komunitni-energetika.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2023/3/02_LEX-OZE-II_komunitni-energetika.pdf)
- [9] BERANOVÁ, Eliška. Lex OZE II míří na vládu: jak pomůže komunitní energetice. In: YouTube [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=A2RP9gpYcu0>
- [10] HUDCOVÁ, Pavla. Simulace vlivu uživatelského chování na spotřebu energie v rodinném domě [online]. Praha, 2020 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/88094/F3-DP-2020-Hudcova-Pavla-Hudcova\\_DP\\_simulaceVlivuChovaniNaSpotrebu.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/88094/F3-DP-2020-Hudcova-Pavla-Hudcova_DP_simulaceVlivuChovaniNaSpotrebu.pdf?sequence=-1&isAllowed=y). Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [11] GORDON, David. Battery market forecast to 2030: Pricing, capacity, and supply and demand. In: Esource [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.esource.com/report/130221hvfd/battery-market-forecast-2030-pricing-capacity-and-supply-and-demand>
- [12] KUBÁTOVÁ, Věra. Provoz fotovoltaické elektrárny v číslech – čtyřlenná rodina v domě s bazénem. In: S-power [online]. 2021 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/provoz-fotovoltaicke-elektrarny-v-cislech-ctyrclelna-rodina-v-dome-s-bazenem/>
- [13] MÜNSTER, Tomáš. Fotovoltaická elektrárna. In: Solarroof [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.solarroof.cz/fve.php>
- [14] Třídy typových diagramů dodávek. In: Eru [online]. [cit. 2023-05-22].

- Dostupné z: [https://www.eru.cz/sites/default/files/upload/Priloha\\_4\\_541.pdf](https://www.eru.cz/sites/default/files/upload/Priloha_4_541.pdf)
- [15] PVGIS (PV-GIS). Photovoltaic software [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-free-photovoltaic-software/pvgis>
- [16] Statistika teploty. OTE [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/teploty?date=2023-05-22>
- [17] DVORSKÝ, Emil. Typové diagramy [online]. Učební texty, ZČU, 2013 [cit.2023-05-22]. Dostupné z: [home.zcu.cz/~dvorsky/MMEE/Cviceni/2013/CV5/TypoveDiagramy.doc](http://home.zcu.cz/~dvorsky/MMEE/Cviceni/2013/CV5/TypoveDiagramy.doc)
- [18] Data od technika EG.D a.s.
- [19] Kategorizace zákazníků. In: Eru [online]. [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/pte-priloha-7.pdf>

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
DŘT	Dispečersky řízená technika
DS	Distribuční soustava
DTS	Distribuční transformační stanice
ERÚ	Energetický regulační úřad
FVE	Fotovoltaická elektrárna
LDS	Lokální distribuční soustava
MO	Odběrné místo
NN	Nízké napětí
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
TDD	Typové diagramy dodávek
TUV	Teplá užitková voda