



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: 31.7.2023

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 dvě skutečné oblasti 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. 77 s. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/153902>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Jan Dvořáček
VUT ID studenta:	195660
Typ práce:	Diplomová práce
Akademický rok:	2022/23
Téma závěrečné práce:	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: 31.července 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: 31. července 2023

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
1. LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ ZDROJŮ.....	13
1.1 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV (PPDS).....	13
1.1.1 Rozdělení zdrojů podle výkonnostní řady	13
1.1.2 Žádost o připojení zdroje z pohledu žadatele	14
1.1.3 Žádost o připojení zdroje z pohledu distributora	14
1.1.4 Podmínky připojení zdroje skupiny A1 bez přetoků.....	15
1.1.5 Podmínky připojení zdroje s přetoky ze skupiny A	15
1.1.6 Podpora sítě dle PPDS Příloha 4	16
1.1.7 Změna podmínek pro připojení zdroje do DS.....	17
1.2 NOVELA ENERGETICKÉHO ZÁKONA - LEX OZE I.....	17
1.3 NOVELA ENERGETICKÉHO ZÁKONA - LEX OZE II	17
1.3.1 Energetické společenství a společenství pro obnovitelné zdroje	18
2. SCÉNÁŘE CHOVÁNÍ ODBĚRATELŮ A VÝROBCŮ EL. ENERGIE.....	19
2.1 SPOTŘEBITEL	19
2.1.1 Typové diagramy dodávek (TDD).....	19
2.1.2 Model chování rodiny s dětmi.....	23
2.2 SPOTŘEBITEL S INSTALOVANÝM ZDROJEM.....	25
2.2.1 Pouze zdroj.....	25
2.2.2 Zdroj s bateriovým systémem.....	25
3. ŘEŠENÁ OBLAST	29
3.1 VSTUPNÍ BODY	29
3.2 TYPOVÉ ROZLOŽENÍ OBJEKTŮ V OBLASTI.....	29
4. NÁVRH KRITICKÝCH STAVŮ.....	32
4.1 ZHODNOCENÍ VLIVU JEDNOTLIVÝCH FAKTORŮ	32
4.1.1 Umístění fotovoltaických elektráren v DS	32
4.1.2 Zeměpisná poloha.....	33
4.1.3 Orientace fotovoltaických elektráren.....	33
4.1.4 Časový průběh a intenzita ozáření.....	34
4.1.5 Instalovaný výkon	34
4.1.6 Využití přebytečné energie.....	34
4.1.7 Trh s elektrickou energií a komunitní energetika	35
4.2 ANALÝZA ČASOVÉHO PRŮBĚHU INTENZITY OZÁŘENÍ.....	35
4.2.1 Leden	35
4.2.2 Červenec	36
5. VYHODNOCENÍ OBLASTI.....	38
5.1 POSTUP VÝPOČTU PŘIPOJITELNOSTI FVE	38
5.2 POUZE FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY.....	39
5.2.1 Zpracování oblasti I	39

5.2.2	<i>Zpracování oblasti 2</i>	43
5.3	FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY S BATERIOVÝM ÚLOŽIŠTĚM	44
5.3.1	<i>Zpracování oblasti 1</i>	44
5.3.2	<i>Zpracování oblasti 2</i>	46
6.	ZÁVĚR	48
	LITERATURA	50
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	52
	SEZNAM PŘÍLOH	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Průměrný odebíraný výkon spotřebitele v lednu.....	22
Obrázek 2.2 Průměrný odebíraný výkon spotřebitele v červnu.....	23
Obrázek 2.3 Průběh spotřeby během všedního dne u rodiny s dětmi [10]	24
Obrázek 2.4 Průběh spotřeby během víkendu u rodiny s dětmi [10].....	24
Obrázek 2.5 Energetická bilance skutečného spotřebitele s fotovoltaickou elektrárnou a bateriovým systémem 09.03.2021 [12]	26
Obrázek 2.6 Energetická bilance skutečného spotřebitele s fotovoltaickou elektrárnou a bateriovým systémem 21.06.2021 [12].....	27
Obrázek 2.7 Očekávaná cena baterií za kWh [11].....	27
Obrázek 3.1 Kabelové schéma první oblasti	30
Obrázek 3.2 Schéma vedení druhé oblasti.....	31
Obrázek 4.1 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [13].....	33
Obrázek 4.2 Proudové průběhy měřené DTS během týdne.....	34
Obrázek 4.3 Očekávané ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce ledna [15].....	36
Obrázek 4.4 Očekávané přímé ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce července dle orientace [15]	37
Obrázek 5.1 Kabelové schéma první oblasti s novými zdroji (označené červeně).....	39
Obrázek 5.2 Schéma vedení druhé oblasti s přidávanými novými zdroji (označené modře)	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 Výkonové kategorie zdrojů [2].....	14
Tabulka 1.2 Hodnoty nastavení nadpět'ových ochran [18].....	17
Tabulka 2.1 Třídy typových diagramů dodávek [14]	21
Tabulka 2.2 Tarifní statistika [4]	22
Tabulka 4.1 Rozdíl napětí před a po připojení zdroje s instalovaným výkonem 10 kWp v závislosti na použitém průřezu kabelu jeho vzdálenosti od DTS	33
Tabulka 5.1 Vypočtená data pro víkendový den v lednu pro oblast 1	40
Tabulka 5.2 Vypočtená data pro všední den v lednu pro oblast 1	41
Tabulka 5.3 Vypočtená data pro víkendový den v červenci pro oblast 1	42
Tabulka 5.4 Vypočtená data pro všední den v červenci pro oblast 1.....	42
Tabulka 5.5 Vypočtená data pro oblast 2 v únoru	43
Tabulka 5.6 Vypočtená data pro oblast 2 v červnu.....	44
Tabulka 5.7 Vypočtené rozdíly napětí s a bez baterií pro první oblast v červenci	45
Tabulka 5.8 Vypočtené rozdíly napětí s a bez baterií pro první oblast v srpnu.....	45
Tabulka 5.9 Vypočtené rozdíly napětí s a bez baterií pro druhou oblast v květnu	46
Tabulka 5.10 Vypočtené rozdíly napětí s a bez baterií pro druhou oblast v červnu	46

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 zamítní 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 a 22. června byla pozměněná novela schválena. [6][7]

Z pohledu běžného spotřebitele jsou tyto změny vnímány kladně. Díky tomu získávají větší volnost ve využití fotovoltaických elektráren. Pro spotřebitele je žádoucí, aby mohl vybudovat fotovoltaickou elektrárnu a měl možnost dodávat přebytečnou energii do sítě z důvodu urychlení ekonomické návratnosti celého systému.

Z pohledu státu je cílem, aby došlo k větší decentralizaci zdrojů a zvýšilo se tak využití obnovitelných zdrojů energie, které je v současné době pod průměrem Evropské unie. 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 přerušení. 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.

V této práci budou analyzovány vybrané oblasti distribuční soustavy. Vybrané oblasti jsou reálné, 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.

1. LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY PRO PŘIHOJENÍ 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]

1.1 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.

1.1.1 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 očekávají¹ 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]

¹ 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 1.1 Výkonové kategorie zdrojů [2]

Kategorie výrobního modulu	Limit	Podkat.	Hranice PDS	Nejvýznamnější požadavky
A	800 W	A1	≥ 800 W; ≤ 11 kW	podle čl. 13 pro výrobní moduly A
		A2	> 11 kW; < 100 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	≥ 100 kW; < 1 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	≥ 1 MW; < 30 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	≥ 30 MW < 75 MW	podle čl. 15, čl. 18 a čl. 21
D	75 MW	D	≥ 75 MW	podle čl. 16, čl. 19 a čl. 22

1.1.2 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]

1.1.3 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]

1.1.4 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 (výrobná) 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]

1.1.5 Podmínky připojení zdroje s přetoky ze skupiny A

Během schvalovacího procesu se ověřuje vliv výrobní 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]

1.1.6 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 50549-1. 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 1.2.

Tabulka 1.2 Hodnoty nastavení nadpět'ových ochran [18]

Parametr	Nastavení pro vypnutí	Zpoždění [s]
Nadpětí 3. stupeň	1,2 Un	0,1
Nadpětí 2. stupeň	1,15 Un	5
Nadpětí 1. stupeň	1,11 Un	0

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

1.1.7 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.

1.2 Novela Energetického zákona - Lex OZE I

Novela energetického zákona (zákon č. 19/2023 Sb.) která nabyla 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]

1.3 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]

1.3.1 Energetické společenství a společenství pro obnovitelné zdroje

V energetickém společenství mohou být například fyzické osoby, malé 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 výrobny do 50 kW smí prodávat energii, nespotřebovanou v rámci společenství, pouze obchodníkovi s elektřinou. [8] [9]

Po přepracování novela zahrnuje i omezení sdílení energie mezi maximálně 1000 OM na území maximálně tří sousedních obcí s rozšířenou působností. Dále je omezeno i maximální množství hlasovacích práv, které může vlastnit jeden člen, což je stanoveno na 10 %. [22]

2. 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 3. Získání dat jednotlivých uživatelů o jejich spotřebě a výrobě není reálné, jelikož jsou tyto odběry, z větší míry², 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.

2.1 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 z modelu typizovaného diagramu dodávky, ze kterých budu využívat pouze průběhy ze třídy 4, 5 a 7.

Druhý zmíněný model využívá výsledky z diplomové práce Ing. Pavly Hudcové [10], která se zabývala modelováním spotřeby elektrické energie běžných uživatelů. Ten model slouží k porovnání očekávané skutečné spotřeby oproti modelové spotřeby z TDD. Tento model nebude využit při simulacích.

2.1.1 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 2.1. Ty jsou rozděleny podle typu zákazníka a jeho sazby. Ty jsou rozděleny podle typu zákazníka a jeho sazby do osmy kategorií.

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

² Většina spotřebitelů v současné době disponuje měřením typu C.

ČHMÚ. Jedná se o průměrnou denní teplotu vzduchu z let 1981 – 2010. Hodnota je počítána pro každý jeden den. [16][17]

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 2.1 Třídy 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

Pro vhodné využití TDD je potřeba nejdřív stanovit výpočet pro velikost odběru v dané hodině:

$$Q_h = Q_r \cdot \frac{r_h}{r_c} \quad [20]$$

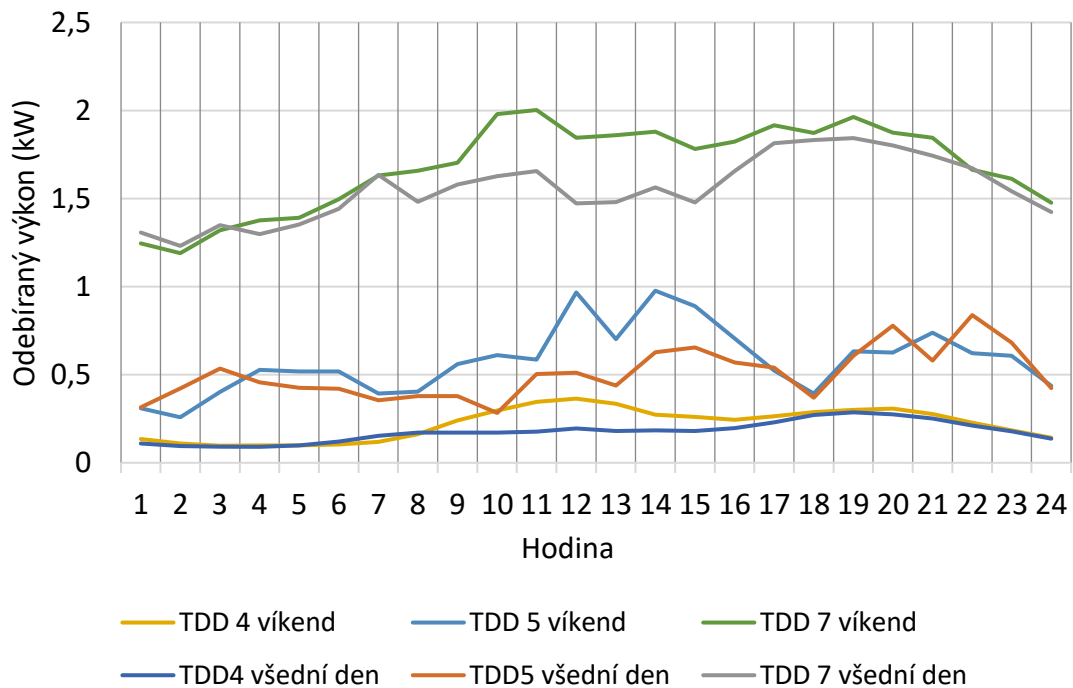
kde Q_h je spotřeba odběru v dané hodině, Q_r je roční spotřeba odběrného místa, r_h je velikost koeficientu daného TDD v dané hodině, r_c je součet koeficientů daného TDD za celý rok.

Na následující straně je znázorněna ukázka přepočítaného TDD pro měsíc leden a červen. Velikosti jednotlivého odběru v průběhu roku byly stanoveny pomocí zveřejněných dat z ERÚ pro rok 2022. Je nutné podotknout, že výsledky dosažené z TDD jsou stanové pro celou skupinu odběratelů. Neodpovídají však jednotlivým OM a zanáší do výpočtu chybu.

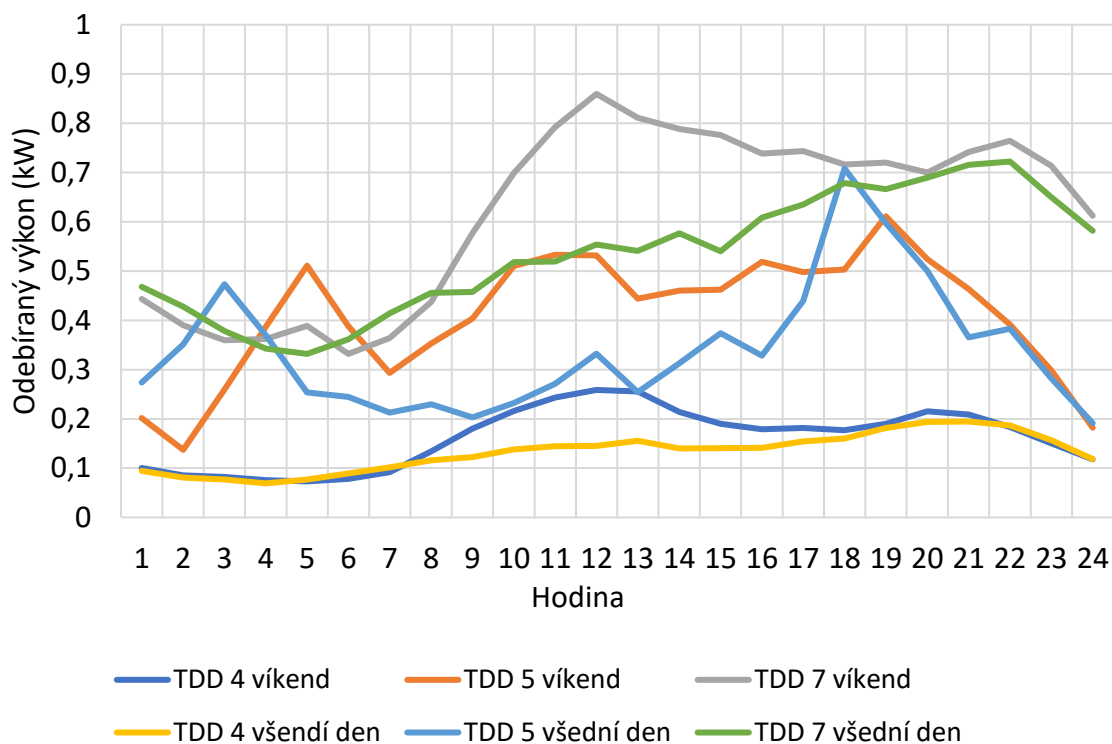
Tabulka 2.2 Tarifní statistika [4]

Sazba	Počet OM	Celková spotřeba (MWh)
D01d	719 980	478 955
D02d	2 807 931	4 536 864
D25d	1 025 356	3 707 428
D26d	61 428	409 508
D45d	410 688	3 464 280
D56d	56 114	766 819
D57d	296 566	2 425 680

Spotřeba v jednotlivých odběrných místech se mění dle využívání domácnosti spotřebitelem. Na následujících grafech je názorně ukázáno chování spotřebitelů z různých skupin dle TDD v lednu a červnu. Na první pohled je viditelná spotřeba. V lednu, kdy se očekává větší využití ohřevu TUV i využívání přímotopů, vzrostla výrazně spotřeba u skupiny TDD 7, oproti spotřebě v červnu. U skupiny TDD 4 je spotřeba po celý rok téměř vyrovnaná. U všech tří skupin lze pozorovat i změnu spotřeby mezi všedním dnem a víkendem v období okolo dvanácté hodiny. To lze vysvětlit přípravou jídla.



Obrázek 2.1 Průměrný odebíraný výkon spotřebitele v lednu



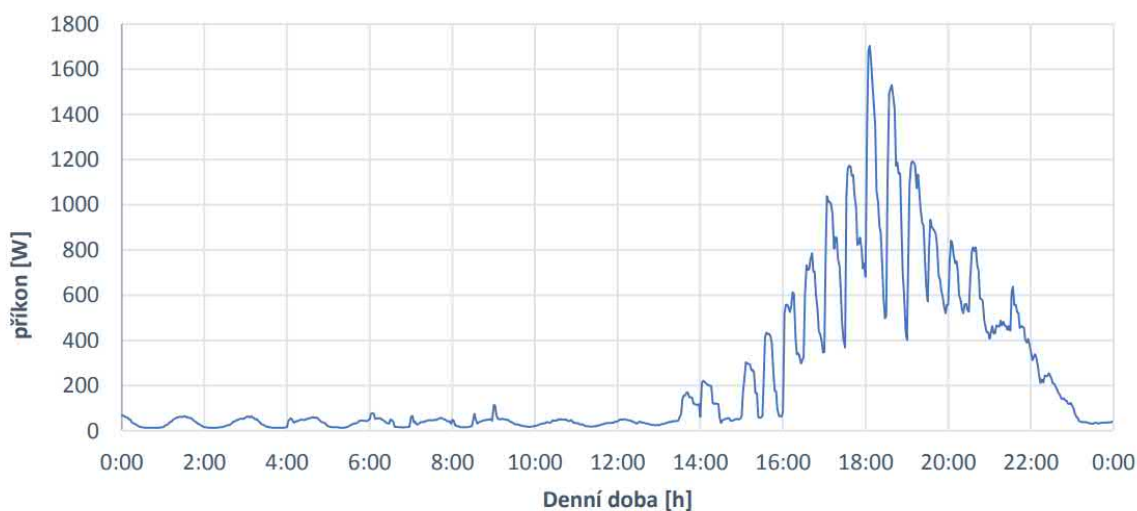
Obrázek 2.2 Průměrný odebíraný výkon spotřebitele v červnu

2.1.2 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.

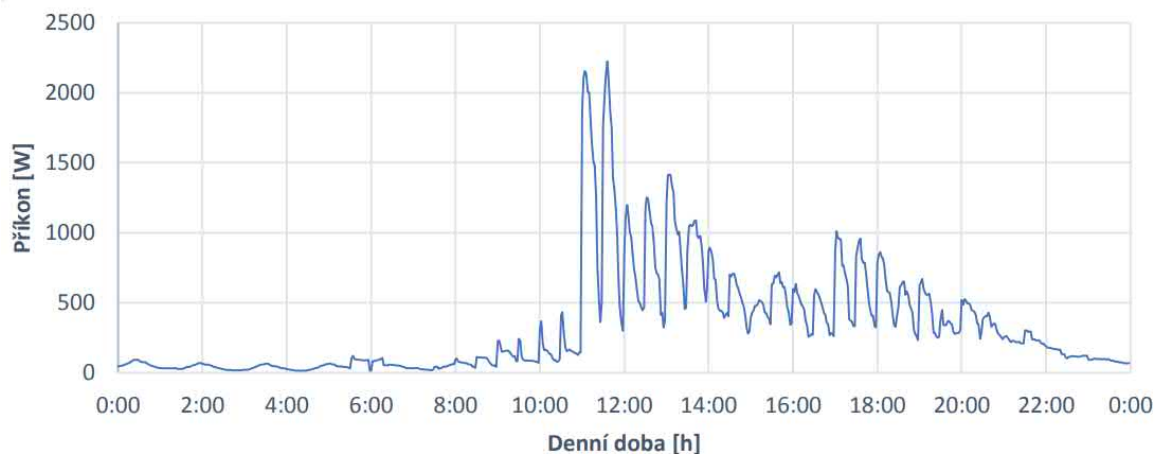
V tomto případě můžeme jednoznačně říci, že průběh spotřeby energie se bude lišit v závislosti na druhu dne. Tedy rozdílné průběhy během všedních dnů a víkendu, popřípadě svátečních dnů. Pro zjednodušení zde nebude zahrnuta možná dovolená.

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 2.3 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



Obrázek 2.4 Průběh spotřeby během víkendu u rodiny s dětmi [10]

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.

2.2 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

2.2.1 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.

Aktuálně (v roce 2023) se pohybují ceny výkupu elektrické energie z FVE od 1 Kč/kWh do 3 Kč/kWh. Toto je fixní cena od obchodníků, kteří si z většiny účtují poplatky za zpracování výkupu. Spotový trh nabízí aktuálně podobné ceny za kWh jako u fixního výkupu, okolo 2 Kč/kWh. Poplatky u prodejců na spotovém trhu se pohybují okolo 0,5 Kč/kWh. [21]

Další způsob, jak už vyplývá z předchozího odstavce, je využití zdroje převážně k vlastní spotřebě. Tento způsob není velmi využívaný. Jeho nedostatkem je nesynchronizovanost výroby a spotřeby v objektu. 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 pomocí grafů na následující straně, kde si můžeme porovnat předpokládanou výrobu energie ze zdroje a spotřebu odběratele v průběhu dne. Tento nedostatek zmírní instalace bateriového systému, viz následující sekce.

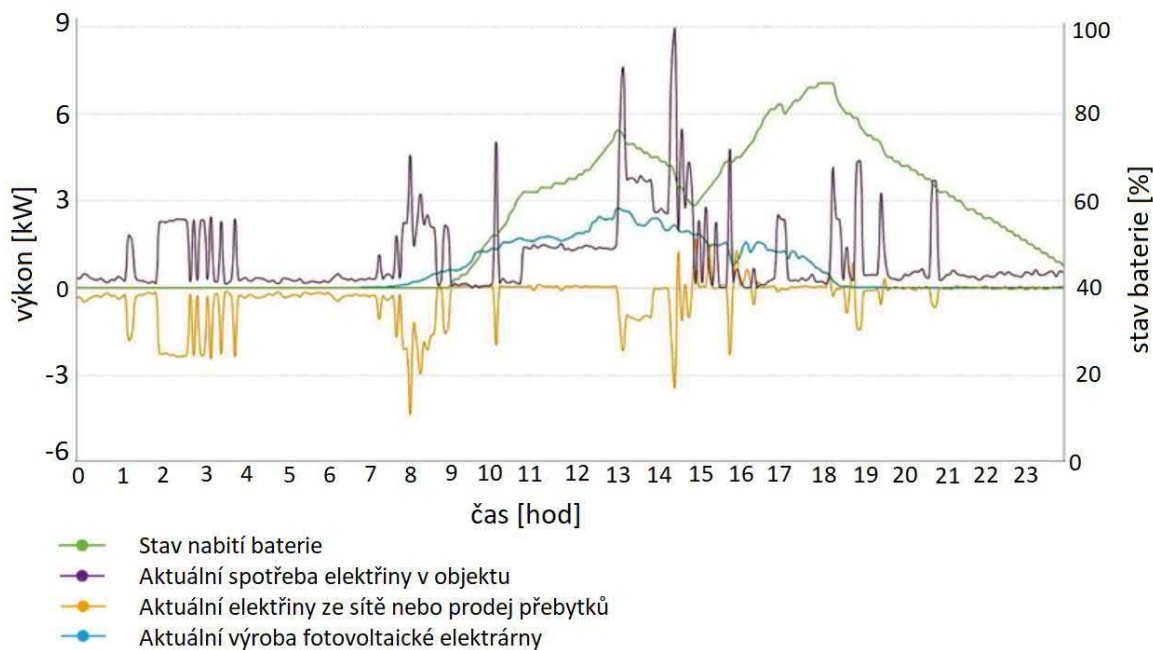
2.2.2 Zdroj s bateriovým systémem

Využití bateriového systému spolu se zdrojem energie přináší uživateli značné výhody. Běžně se instalují bateriové systémy rozmezí 5 – 12 kWh³, přičemž nejvíce je rozšířený systém okolo 10 kWh. Dochází k uložení vyrobené energie v bateriích a následně k jejímu využití v časech kdy je potřeba a zdroj neprodukuje dostatečné množství energie, nebo nevyrobí vůbec. Dnešní systémy umožňují širší využití vyrobené energie. Lze dosáhnout i stavu kdy dochází k napájení objektu, částečnému dobíjení baterie i posílání přebytečné energie do sítě.

Na následujících obrázcích je znázorněn skutečný průběh spotřeby rodinného v domě s instalovanou FVE o instalovaném výkonu 7,15 kWp s bateriovým úložištěm s kapacitou 7,1 kWh. Elektrárna je situována na východ a západ.

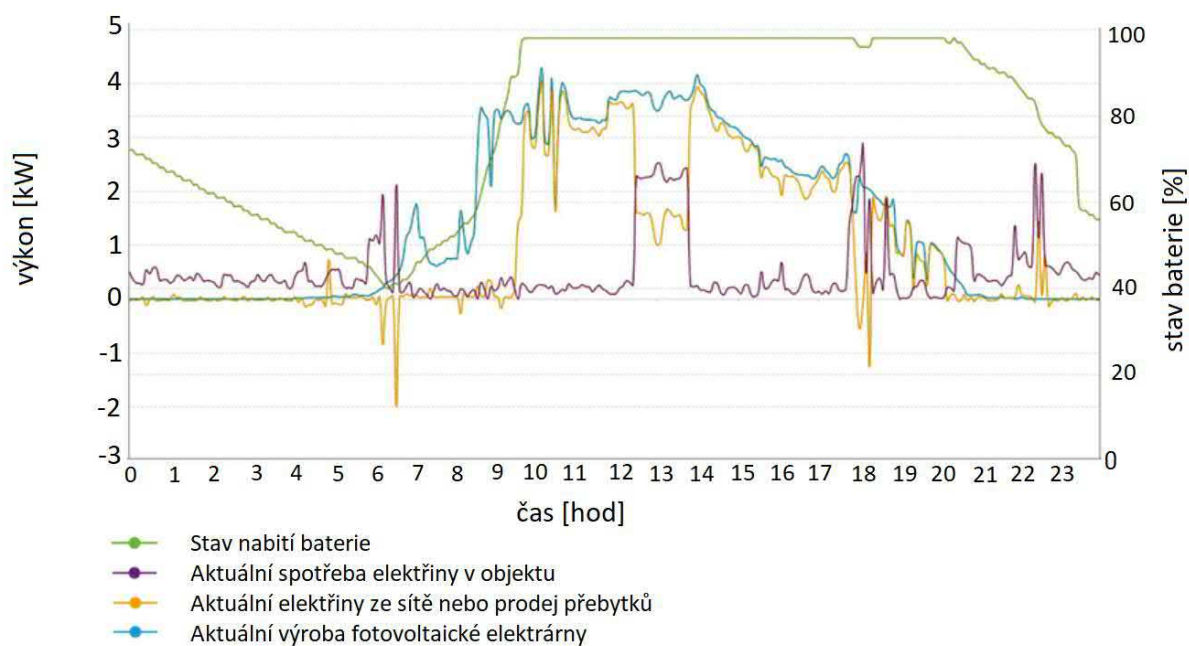
³ Tento rozsah hodnot je vypočítán z interních dat od společnosti EG.D a.s.

Na prvním obrázku lze sledovat průběh spotřeby a výroby na začátku března v roce 2021. Dle zdroje bylo v den měření slunečno po celý den. Lze pozorovat, že elektrárna začala vyrábět okolo osmé hodiny ráno a baterie se začala dobíjet o hodinu později. Do jedné hodiny odpoledne se baterie dobila na 75 %. Odpoledne baterie pomáhala vykrýt výkonovou špičku. Následně došlo k jejím nabití nad 80 %. Na obrázku je vidět že během ranní hodin došlo k vybití baterie a došlo k čerpání elektřiny ze sítě.



Obrázek 2.5 Energetická bilance skutečného spotřebitele s fotovoltaickou elektrárnou a bateriovým systémem 09.03.2021 [12]

Obrázek (Obrázek 2.6) znázorňuje průběh spotřeby výroby v druhé polovině června. Lze vidět, že baterie se začala nabíjet již před sedmou hodinou ranní a během tří hodin k jejímu plnému nabití. Samotná elektrárna dokázala během dne pokrýt celkovou spotřebu objektu.



Obrázek 2.6 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 2.7). 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 2.7 Očekávaná cena baterií za kWh [11]

Ačkoliv se může zdát, že bateriový systém vyřeší veškeré problémy s využitím přebytečné energie z FVE, bohužel toto tvrzení není pravdivé. Nabití baterií z elektrárny v nejproduktivnějších měsících proběhne většinou ještě před dosažením maximálního výkonu elektrárny. V dalších měsících lze očekávat dobití bateriového systému v odpoledních hodinách, při vhodných klimatických podmínkách. V zimním období však k plnému dobití baterie nedojde vůbec.

3. 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 anonymizaci dat v programu Grizzly. V praxi je běžné přikládat ke schématu infrastruktury zároveň i podkladovou mapu, v tomto případě to není možné.

3.1 Vstupní body

Obě oblasti jsou napájené z jedné DTS. První oblast je čistě kabelová síť. Druhá oblast je tvořena převážně venkovním vedením s menším příspěvkem kabelové sítě. Obě DTS jsou osazeny transformátorem o výkonu 250 kVA. V současné době jsou obě oblasti uzavřené pro připojení nových zdrojů.

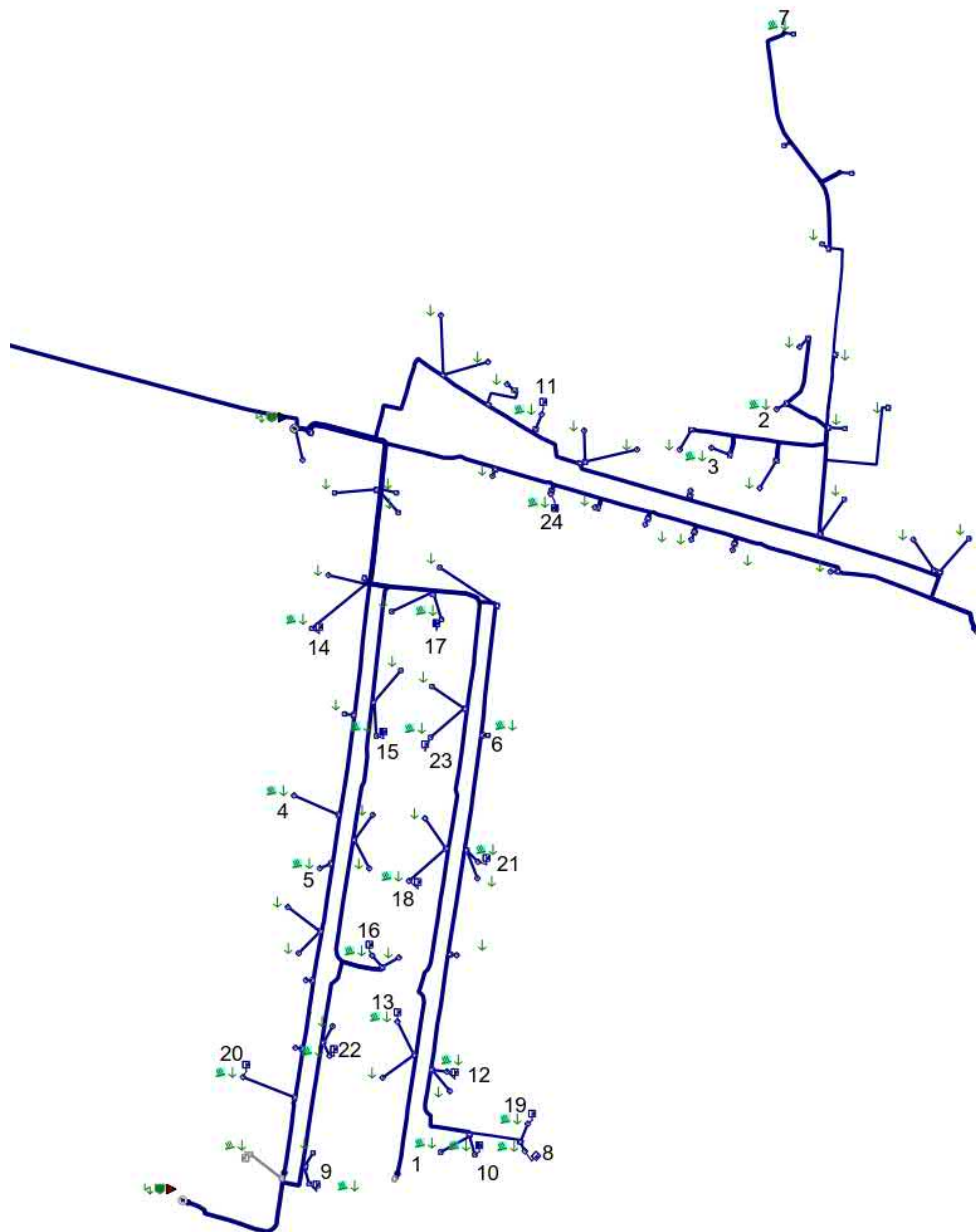
3.2 Typové rozložení objektů v oblasti

Oblasti se nachází v jihočeském kraji. Výrazně v nich převažuje zástavba rodinných domů či statků se sedlovou střechou, které jsou typické pro oblast jižních Čech. Převážná většina sedlových střech je orientována na jih s občasným mírným vychýlením.

Oblast 1

V této oblasti se primárně nachází rodinné domy a statky, také se zde nachází chatová oblast. Hlavní kabelové trasy jsou tvořeny kabely AYKY 3x240+120 a NAYY 4x150. U nejvzdálenějšího napájeného místa je elektrická vzdálenost od napájecí DTS zhruba 460 m. V oblasti se nachází přibližně 65 odběrných míst, toto množství zahrnuje i chatové oblasti. Plyn je zaveden u necelé čtvrtiny odběrných míst. Této části lze jednoduše přiřadit charakter odběru dle TDD 4, navíc se do této skupiny mohou zahrnout i odběratelé z chatové oblasti u kterých se nepředpokládá dvou tarifní odběr. Zbylé odběry lze rozdělit do zbývajících skupin dle pravděpodobnosti výskytu.

V oblasti se nachází celkem dvacet čtyři fotovoltaických elektráren s jednotlivým instalovaným výkonem 10 kWp. Všechny elektrárny jsou situovány na přímo na jih nebo na jih s malou odchylkou. Pouze elektrárna označená pod číslem 11 je situován na západ.

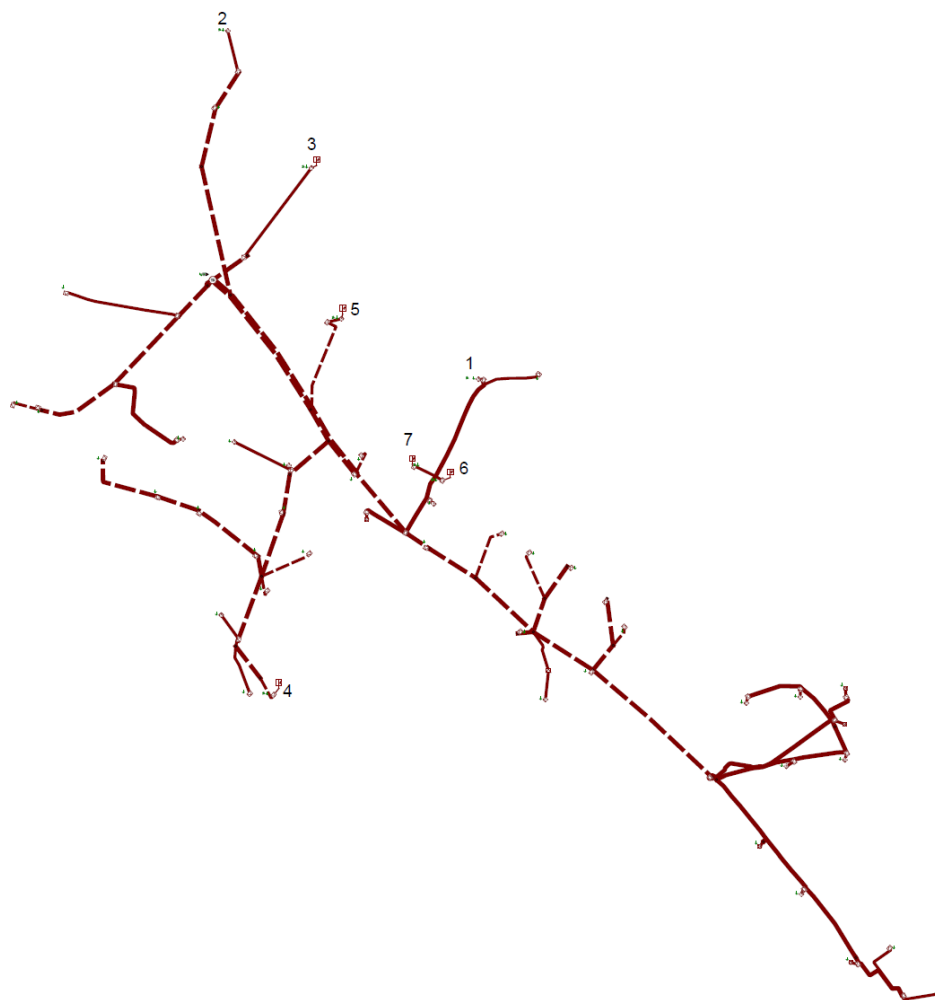


Obrázek 3.1 Kabelové schéma první oblasti

Oblast 2

V této oblasti se primárně nachází rodinné domy ojediněle i statky hlavní trasy venkovní vedení jsou tvořeny AlFe 3x50+35 a AlFe 4x35, kabelové vedení je tvořeno kabelem NAYY 4x95. U nejvzdálenějšího napájeného místa je elektrická vzdálenost od napájecí DTS zhruba 440 m. V oblasti s nachází přibližně 60 odběrných míst. Plyn v této oblasti není zaveden, proto v této části je přiřazen charakter odběru dle TDD 5 nebo TDD 7.

V oblasti se nachází celkem sedm fotovoltaických elektráren s jednotlivým instalovaným výkonem 10 kWp. Všechny elektrárny jsou situovány na jih.



Obrázek 3.2 Schéma vedení druhé oblasti

4. 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
- trh s elektrickou energií a komunitní energetika

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

4.1 Zhodnocení vlivu jednotlivých faktorů

4.1.1 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.

Pro ukázkou byly zvoleny tři místa s připojením zdroje s instalovaným výkonem 10 kWp na následující typy vedení:

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

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

Výsledky s vyhodnocením simulací zobrazuje Tabulka 4.1, která demonstuje tyto rozdílné efekty připojení na změnu napětí u stejného zdroje při rozdílném průřezu kabelu či délky vedení do místa připojení.

4.1.2 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 osvitu na obrázku (viz Obrázek 4.1).



Obrázek 4.1 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [13]

4.1.3 Orientace fotovoltaických elektráren

Dalším parametrem, který je potřeba uvažovat ve výpočtu je směr orientace fotovoltaické elektrárny. Důvod jeho uvažování je zcela zřejmý, 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 %.

4.1.4 Časový průběh a intenzita ozáření

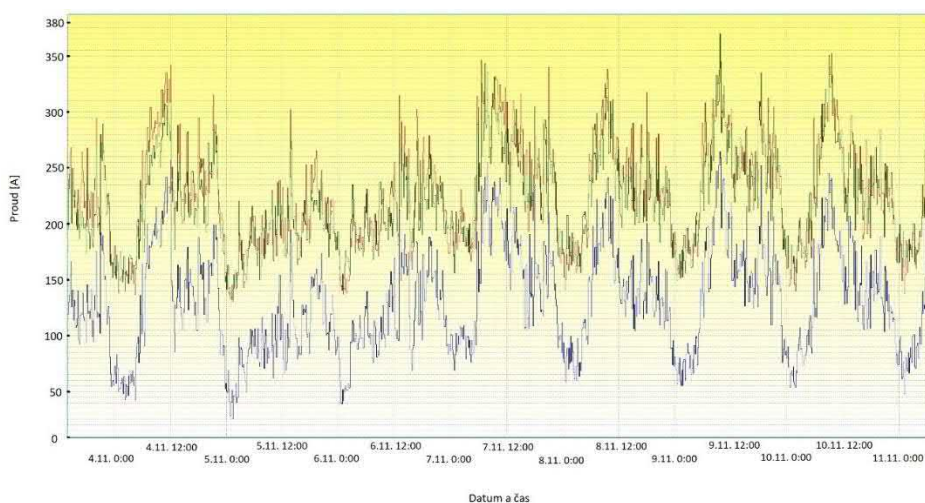
Hlavní úlohu při vyhledávání kritického stavu hraje časové rozložení intenzity ozáření elektrárny. Výkonnostní křivka během dne se budou lišit s ohledem na orientaci elektrárny. Jako první dosáhnou výrobního maxima elektrárny osazené na východ, poté ty s orientací na jih a jako poslední elektrárny orientované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

4.1.5 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.

4.1.6 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 z důvodu změny produkce a spotřeby elektrické energie. Jako příklad změny spotřeby v průběhu týdne lze uvést měření z reálné DTS (viz Obrázek 4.2). Trafostanice je zde osazena transformátorem o výkonu 400 kVA, jeho maximální proudové zatížení je tedy 630 A. Je zřejmé že při maximálním odběru je transformátor zatížen na 55 % a to pouze v jedné fázi. Nutné je podotknout že k dané DTS není připojen žádný zdroj.



Obrázek 4.2 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, která by byla v časech maximální výroby spouštěna. Došlo by poté ke zmírnění přetoků do sítě a tím i zatížení sítě.

4.1.7 Trh s elektrickou energií a komunitní energetika

Fotovoltaická elektrárna nemusí sloužit pouze pro získání větší samostatnosti v rámci energetického hospodářství, při prodeji přetoků do sítě se může brát i jako ekonomický zdroj. Výkupem přetoků z FVE se zabývá mnoho společností, které nabízejí jak fixní výkupovou částku, tak i možnost prodeju na spotové trhu u kterého se cena pohybuje dle aktuálního kurzu.

U komunitní energetiky se předpokládá sdílení energie v rámci blízkých objektů. Z toho důvodu lze zjednodušeně říci, že spotřebitel s FVE bude dodávat do sítě přebytečnou energii tak jako spotřebitel z předešlého odstavce.

V obou případech se předpokládá běžný provoz FVE s typickým bateriovým úložištěm, při kterém by nedocházelo k ukládání většího množství přebytečné energie a její následnou dodávku do sítě v netypický čas. Z toho důvodu nebude tento faktor zohledněn.

4.2 Analýza časového průběhu intenzity ozáření

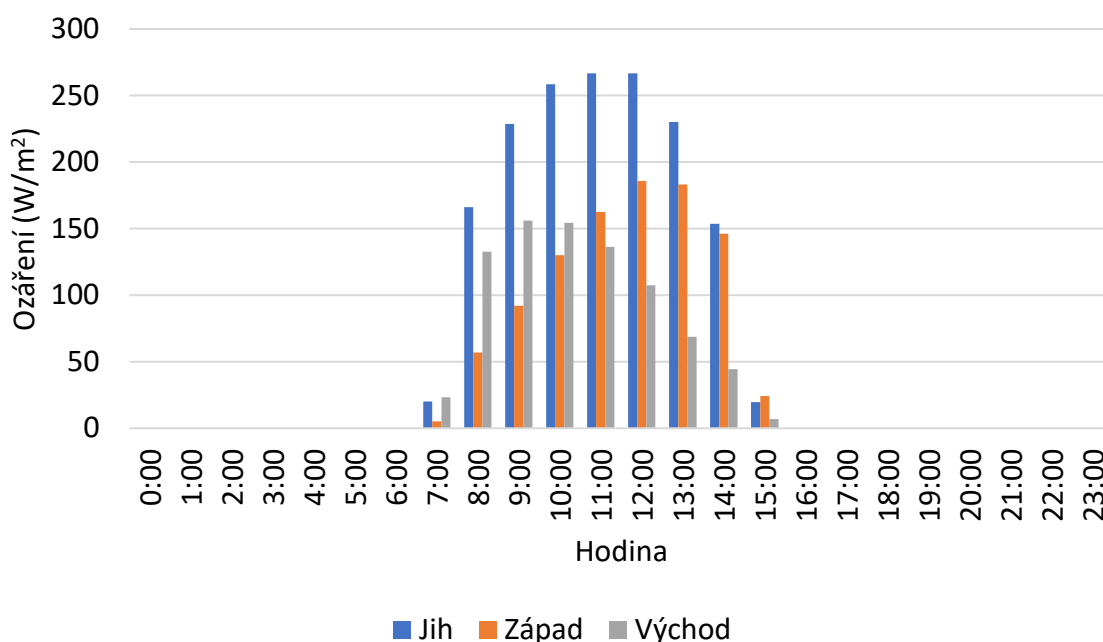
Pohyb slunce po obloze se mění každý den, z toho vyplývá, že by mělo dojít k posouzení kritických stavů každého dne. Tento výpočet by byl ovšem velmi časově náročný, a proto se použije zjednodušení v podobě generalizace pouze na měsíce, popřípadě sloučení více měsíců dohromady. Pro tento účel byla použita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

4.2.1 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 obrázku (Obrázek 4.3) 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.



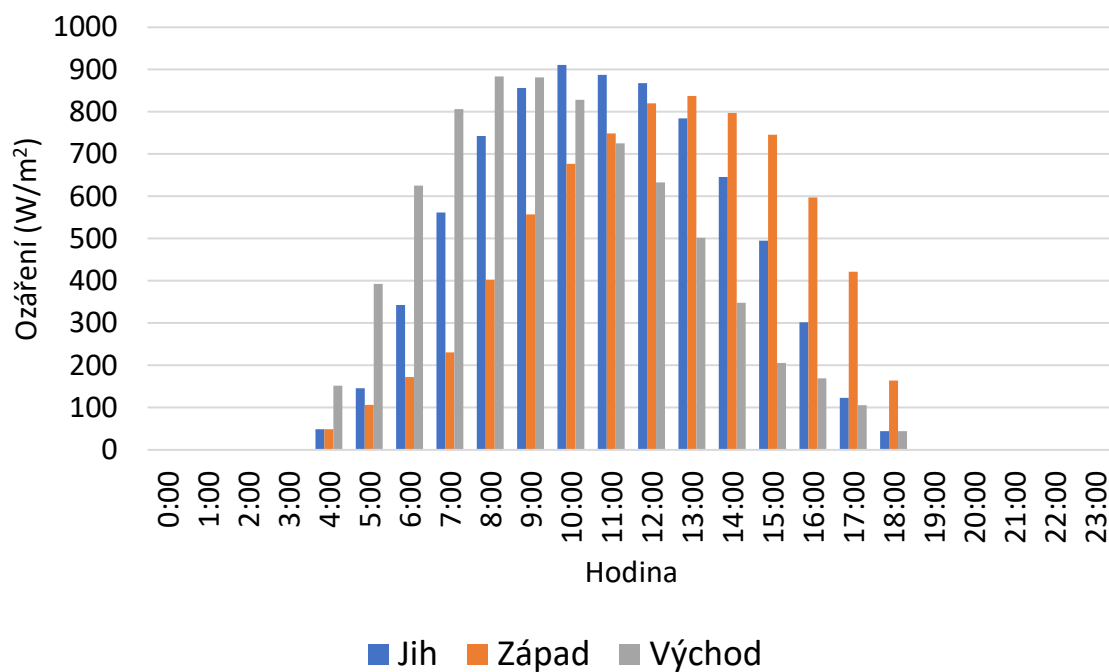
Obrázek 4.3 Očekávané ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce ledna [15]

4.2.2 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 obrázku (Obrázek 4.4) lze pozorovat průměrné ozáření ve zvolené oblasti během července s různou orientací elektrárny. Elektrárna s orientací na východ začíná generovat energii okolo páté hodiny ráno 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 do sedmé hodiny večer. Elektrárny s jižní orientací začínají generovat energii později než východní, a to po šesté hodině ráno. 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 (viz Obrázek 4.4).



Obrázek 4.4 Očekávané přímé ozáření ve vybrané oblasti v průběhu měsíce července dle orientace [15]

5. VYHODNOCENÍ OBLASTI

5.1 Postup výpočtu připojitelnosti FVE

Simulace probíhá podle nastavených parametrů v programu Grizzly. Určení adekvátních vstupních parametrů je jeden z klíčových bodů této práce, o samotné simulace se postará již zmiňovaný program. Bohužel datový výstup z programu není vhodný pro další strojové zpracování. Z těchto důvodů byla nutná úprava všech vypočítaných hodnot.

Jednotlivé simulace jsou spouštěny pro všechny připojené FVE na dané DTS současně, aby mohlo dojít k ovlivňování jednotlivých FVE mezi sebou. Parametry výpočtu byly měněny v krocích po jedné hodině na základě získaných dat. Spotřeba jednotlivých OM byla stanovena pomocí průběhů spotřeby dle TDD a v programu byly implementovány jako soudobost OM. Výkon dodávaný FVE byl aproximován pomocí grafů průměrného ozáření, vysvětlených podrobněji v kapitole 5. V příloze A a B jsou zobrazeny grafy využití při výpočtech. Vyhodnocení bylo prováděno na základě následujícího postupu: (bez BESS a s BESS)

1. Výpočet požadované soudobosti ze získaných dat TDD (pro vybranou oblast)
2. Vypočtení ustálených chodů bez připojených FVE – základní zatížení oblasti
3. Provedení připojení všech stávajících fotovoltaických elektráren do modelu
4. Přiřazení výkonu dle FVE dle výsledků z programu PVGIS pro zvolený období a vypočtení ustálených chodů
5. V případě uvolnění kapacity sítě přidání jednoho nového zdroje a výpočet ustáleného chodu a opakování až do překročení stanoveného limitu rozdílu napětí.
6. Opakování těchto cyklů pro všechna časová období.

Simulace pro provoz FVE s bateriovým systémem probíhala obdobně pouze při výpočtu uvolněné kapacity byl snížen výkon FVE zdrojů ve čtyřech hodinách maximální produkce o 2 kW. Kapacita uvažovaných baterií byla 10 kWh s maximálním vybitím kapacity na 20 %.

Umístění nových zdrojů bylo vybíráno s ohledem na nejvyšší změnu rozdílu napětí.

Při simulaci první oblasti byla počítána připojitelnost pro jednotlivé měsíce s rozdílnou soudobostí odběrů. Vstupní parametry byly rozděleny do skupin pro chování spotřebitele během víkendu a všedního dne. Na základě prvotních výsledků bylo od těchto skupin upuštěno z důvodu minimálních rozdílů výsledných hodnot a v dalších výpočtech byla využita data pro všední den. Toto zjednodušení značně snížilo množství potřebných výpočtů v další práci.

Další zkoumanou kategorií je provoz FVE s bateriovým úložištěm v jednotlivých měsících. V těchto simulacích byl využit model chytrého střídače, který umožňuje ovládání toku energie v domácnosti. Umožňuje využití vyrobené energie v domácnosti, nabíjení

baterie volitelným výkonem a zároveň dodávání přebytku do sítě. Došlo ke stanovení nabíjecího intervalu bateriového úložiště v časech maximální produkce, tedy mezi devátou a dvanáctou hodinou. V simulaci došlo k využití baterie s kapacitou 10 kWh (důvody výběru jsou uvedeny v kapitole 3).

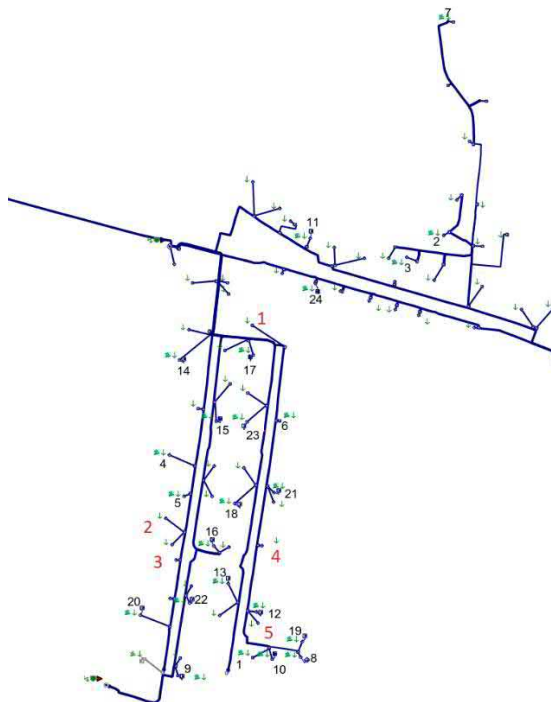
Při simulaci druhé oblasti proběhl výpočet obdobně jako u první oblasti ale již se zjednodušeným algoritmem výpočtu.

5.2 Pouze fotovoltaické elektrárny

V této podkapitole budou představeny výsledky simulací pro scénář provozu FVE se započítáním spotřeby jednotlivých uživatelů bez uvažování bateriového systému.

5.2.1 Zpracování oblasti 1

V následující části bude pospán rozdíl připojitelnosti při změně zatížení jednotlivého odběratele dle hodiny a měsíce v roce. Obrázek (Obrázek 5.1) obsahuje černě vyznačené stávající elektrárny a červeně elektrárny přidané.



Obrázek 5.1 Kabelové schéma první oblasti s novými zdroji (označené červeně)

Tabulka 5.1 Vypočtená data pro víkendový den v lednu pro oblast 1

Číslo	Rozdíl napětí (%)								
	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
1	0,065	0,375	0,733	0,833	0,860	0,865	0,761	0,501	0,063
2	0,042	0,252	0,490	0,560	0,582	0,589	0,512	0,345	0,044
3	0,047	0,280	0,546	0,624	0,647	0,654	0,569	0,383	0,049
4	0,036	0,209	0,408	0,465	0,480	0,484	0,420	0,281	0,036
5	0,036	0,212	0,414	0,472	0,487	0,491	0,426	0,285	0,036
6	0,048	0,281	0,549	0,625	0,645	0,649	0,569	0,376	0,047
7	0,062	0,365	0,712	0,812	0,841	0,848	0,736	0,495	0,063
8	0,065	0,379	0,741	0,841	0,868	0,874	0,768	0,506	0,064
9	0,043	0,253	0,495	0,563	0,581	0,586	0,508	0,340	0,043
10	0,064	0,374	0,733	0,832	0,859	0,864	0,760	0,500	0,063
11	0,028	0,189	0,362	0,423	0,449	0,462	0,410	0,285	0,038
12	0,061	0,357	0,699	0,795	0,820	0,825	0,725	0,478	0,060
13	0,039	0,229	0,448	0,509	0,526	0,530	0,460	0,308	0,039
14	0,031	0,182	0,356	0,405	0,419	0,423	0,367	0,246	0,031
15	0,034	0,199	0,389	0,443	0,458	0,462	0,401	0,268	0,034
16	0,041	0,237	0,463	0,527	0,544	0,549	0,476	0,318	0,040
17	0,032	0,188	0,366	0,417	0,431	0,435	0,378	0,253	0,032
18	0,038	0,220	0,431	0,490	0,506	0,511	0,443	0,296	0,037
19	0,065	0,379	0,741	0,842	0,869	0,874	0,769	0,506	0,064
20	0,038	0,223	0,437	0,497	0,513	0,518	0,449	0,300	0,038
21	0,053	0,311	0,607	0,690	0,713	0,717	0,629	0,416	0,052
22	0,042	0,248	0,484	0,551	0,569	0,573	0,497	0,332	0,042
23	0,036	0,208	0,407	0,463	0,479	0,483	0,419	0,280	0,035
24	0,026	0,151	0,295	0,337	0,348	0,352	0,306	0,205	0,026

Jak bylo zmíněno dříve, tak ze získaných dat lze jednoznačně usoudit, že provoz FVE o víkendu nebo během všedního dne je téměř totožný. Změna napětí se v obou případech pohybuje v rozmezí setin procenta.

V měsíci lednu se výroba elektrické energie u vybraného modelu FVE (10 kWp) pohybuje v rozmezí 200 W až 2660 W. Nejproduktivnější je v FVE v jedenáct hodin, ale i přesto nedochází k výraznějšímu zatížení sítě a plyne z toho možnost připojení dalších FVE. V tomto čase by mohl být navýšen instalovaný výkon všech stávajících elektráren až čtyřnásobně. V případě připojení nového zdroje v jiném OM se tato hodnota může měnit v závislosti na elektrické vzdálenosti vůči DTS.

Tabulka 5.2 Vypočtená data pro všední den v lednu pro oblast 1

Číslo	Rozdíl napětí (%)								
	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
1	0,065	0,375	0,731	0,827	0,854	0,731	0,741	0,497	0,062
2	0,043	0,251	0,488	0,555	0,576	0,498	0,505	0,341	0,044
3	0,048	0,280	0,544	0,618	0,641	0,554	0,562	0,379	0,048
4	0,036	0,209	0,406	0,460	0,475	0,408	0,414	0,278	0,035
5	0,037	0,212	0,412	0,467	0,482	0,414	0,420	0,282	0,036
6	0,048	0,281	0,547	0,619	0,639	0,548	0,556	0,373	0,047
7	0,062	0,364	0,709	0,805	0,834	0,719	0,729	0,490	0,062
8	0,065	0,378	0,738	0,835	0,862	0,738	0,749	0,501	0,063
9	0,044	0,253	0,493	0,558	0,576	0,494	0,501	0,336	0,042
10	0,065	0,374	0,730	0,826	0,852	0,730	0,741	0,496	0,062
11	0,031	0,189	0,360	0,418	0,443	0,400	0,404	0,281	0,038
12	0,062	0,357	0,697	0,788	0,814	0,697	0,707	0,474	0,060
13	0,039	0,229	0,446	0,504	0,521	0,447	0,454	0,304	0,038
14	0,031	0,182	0,354	0,401	0,414	0,356	0,361	0,243	0,031
15	0,034	0,199	0,387	0,438	0,453	0,389	0,395	0,265	0,034
16	0,041	0,237	0,461	0,522	0,539	0,463	0,469	0,315	0,040
17	0,032	0,188	0,365	0,413	0,427	0,367	0,372	0,250	0,032
18	0,038	0,220	0,429	0,485	0,502	0,431	0,437	0,293	0,037
19	0,065	0,379	0,739	0,836	0,863	0,739	0,749	0,502	0,063
20	0,039	0,223	0,435	0,492	0,508	0,436	0,443	0,297	0,038
21	0,054	0,310	0,605	0,685	0,707	0,606	0,614	0,412	0,052
22	0,043	0,247	0,482	0,546	0,564	0,484	0,491	0,329	0,042
23	0,036	0,208	0,405	0,458	0,474	0,407	0,413	0,277	0,035
24	0,026	0,151	0,293	0,332	0,344	0,296	0,300	0,202	0,026

V červenci dochází k rychlému nárůstu produkce z FVE to lze vyčíst z dat v tabulce (Tabulka 5.3). Mezi osmou a třináctou hodinou lze pozorovat nárůst rozdílu napětí a tím pádem dochází k výraznému poklesu připojitelnosti dalších zdrojů. K maximální produkci zdrojů dochází mezi desátou a jedenáctou hodinou. V tomto čase dosahuje rozdíl napětí limitních 3 % a není možné připojit žádné nové zdroje do sítě. V deváté a dvanácté hodině je možné připojit pouze první nový zdroj. Během osmé a třinácté hodiny klesne zatížení sítě natolik že jsou možné připojit čtyři nové zdroje. V ranních a večerních hodinách dochází ke snížení rozdílu napětí, že je možné připojit všech pět nových zdrojů. Výkon modelové elektrárny se v červenci pohybuje od 370 W do 9500 W.

Tabulka 5.3 Vypočtená data pro víkendový den v červenci pro oblast 1

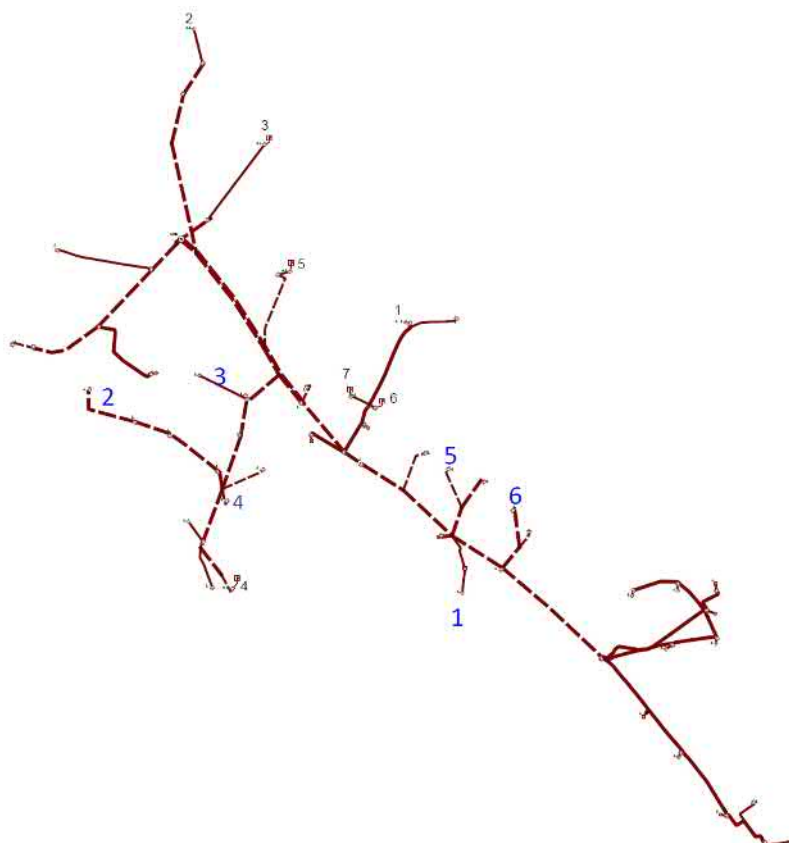
Číslo	Rozdíl napětí (%)														
	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
1	0,120	0,410	1,023	1,828	2,317	2,752	2,860	2,924	2,771	2,360	2,009	1,583	0,982	0,421	0,136
2	0,082	0,277	0,683	1,244	1,541	1,841	1,925	1,975	1,888	1,618	1,390	1,111	0,706	0,321	0,107
3	0,091	0,308	0,762	1,382	1,721	2,055	2,148	2,203	2,103	1,800	1,544	1,231	0,780	0,352	0,117
4	0,067	0,227	0,566	1,034	1,274	1,514	1,576	1,609	1,532	1,308	1,118	0,885	0,554	0,241	0,079
5	0,068	0,231	0,575	1,049	1,294	1,538	1,601	1,635	1,556	1,329	1,135	0,898	0,562	0,244	0,080
6	0,090	0,306	0,764	1,379	1,725	2,048	2,130	2,176	2,067	1,763	1,503	1,187	0,740	0,319	0,103
7	0,118	0,401	0,995	1,787	2,254	2,688	2,804	2,875	2,736	2,338	1,999	1,587	0,998	0,443	0,146
8	0,121	0,414	1,033	1,846	2,340	2,780	2,889	2,954	2,799	2,384	2,029	1,599	0,992	0,425	0,137
9	0,081	0,276	0,688	1,247	1,554	1,847	1,921	1,963	1,866	1,591	1,357	1,072	0,668	0,289	0,094
10	0,120	0,409	1,022	1,826	2,314	2,749	2,856	2,921	2,768	2,358	2,007	1,581	0,981	0,420	0,136
11	0,068	0,220	0,513	0,918	1,150	1,405	1,506	1,575	1,539	1,351	1,195	0,998	0,682	0,361	0,130
12	0,114	0,391	0,975	1,745	2,207	2,622	2,724	2,785	2,641	2,250	1,916	1,510	0,937	0,402	0,130
13	0,073	0,250	0,622	1,129	1,402	1,666	1,734	1,771	1,685	1,438	1,227	0,970	0,606	0,263	0,085
14	0,058	0,198	0,492	0,906	1,104	1,312	1,366	1,394	1,330	1,137	0,973	0,772	0,484	0,212	0,069
15	0,064	0,217	0,539	0,988	1,212	1,439	1,499	1,530	1,458	1,246	1,065	0,844	0,528	0,231	0,075
16	0,076	0,258	0,643	1,169	1,451	1,725	1,794	1,833	1,743	1,487	1,269	1,003	0,626	0,271	0,088
17	0,060	0,204	0,507	0,932	1,139	1,353	1,409	1,439	1,372	1,173	1,003	0,795	0,499	0,218	0,071
18	0,071	0,240	0,598	1,088	1,348	1,601	1,667	1,702	1,620	1,383	1,180	0,934	0,584	0,254	0,083
19	0,121	0,414	1,034	1,847	2,342	2,782	2,891	2,956	2,802	2,386	2,031	1,600	0,993	0,425	0,137
20	0,072	0,243	0,606	1,103	1,367	1,624	1,690	1,727	1,643	1,402	1,197	0,947	0,592	0,257	0,084
21	0,099	0,339	0,846	1,520	1,911	2,270	2,360	2,412	2,289	1,951	1,663	1,312	0,816	0,351	0,114
22	0,079	0,270	0,673	1,221	1,520	1,806	1,879	1,919	1,824	1,556	1,327	1,049	0,654	0,283	0,092
23	0,067	0,227	0,564	1,030	1,270	1,509	1,571	1,604	1,528	1,305	1,114	0,883	0,552	0,240	0,078
24	0,049	0,164	0,407	0,759	0,909	1,079	1,125	1,147	1,097	0,940	0,806	0,642	0,405	0,179	0,059

Tabulka 5.4 Vypočtená data pro všední den v červenci pro oblast 1

Číslo	Rozdíl napětí (%)														
	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
1	0,119	0,412	1,021	1,828	2,498	2,741	2,845	2,924	2,757	2,350	2,003	1,578	0,980	0,420	0,136
2	0,082	0,279	0,682	1,244	1,708	1,831	1,912	1,975	1,874	1,609	1,384	1,106	0,704	0,320	0,107
3	0,091	0,311	0,760	1,382	1,898	2,045	2,134	2,203	2,088	1,790	1,538	1,226	0,777	0,351	0,117
4	0,067	0,229	0,565	1,034	1,411	1,506	1,564	1,609	1,521	1,301	1,113	0,881	0,552	0,240	0,079
5	0,068	0,233	0,574	1,049	1,432	1,530	1,589	1,635	1,545	1,321	1,130	0,895	0,560	0,244	0,080
6	0,089	0,309	0,763	1,379	1,883	2,039	2,117	2,176	2,054	1,754	1,498	1,183	0,737	0,318	0,103
7	0,118	0,404	0,993	1,787	2,453	2,677	2,788	2,875	2,720	2,326	1,993	1,582	0,996	0,442	0,146
8	0,120	0,416	1,032	1,846	2,523	2,769	2,873	2,954	2,785	2,374	2,023	1,594	0,990	0,424	0,137
9	0,081	0,278	0,687	1,247	1,704	1,838	1,909	1,963	1,853	1,582	1,352	1,068	0,666	0,288	0,094
10	0,119	0,412	1,020	1,826	2,495	2,738	2,841	2,921	2,753	2,347	2,001	1,577	0,979	0,419	0,136
11	0,068	0,222	0,512	0,918	1,290	1,397	1,494	1,575	1,527	1,343	1,190	0,994	0,680	0,361	0,130
12	0,114	0,393	0,973	1,745	2,384	2,611	2,710	2,785	2,627	2,240	1,910	1,505	0,935	0,401	0,130
13	0,073	0,252	0,621	1,129	1,542	1,658	1,722	1,771	1,673	1,430	1,222	0,967	0,604	0,262	0,086
14	0,058	0,200	0,491	0,906	1,235	1,304	1,355	1,394	1,319	1,130	0,968	0,768	0,483	0,211	0,069
15	0,064	0,219	0,538	0,988	1,348	1,431	1,487	1,530	1,447	1,238	1,060	0,840	0,527	0,230	0,075
16	0,075	0,260	0,642	1,169	1,597	1,716	1,782	1,833	1,731	1,479	1,264	1,000	0,624	0,271	0,088
17	0,060	0,206	0,506	0,932	1,271	1,346	1,398	1,439	1,361	1,165	0,998	0,792	0,497	0,217	0,071
18	0,070	0,242	0,597	1,088	1,486	1,593	1,655	1,702	1,609	1,375	1,176	0,930	0,582	0,253	0,083
19	0,121	0,417	1,033	1,847	2,525	2,772	2,876	2,956	2,787	2,376	2,025	1,596	0,990	0,424	0,137
20	0,071	0,245	0,605	1,103	1,507	1,616	1,679	1,727	1,631	1,394	1,192	0,943	0,590	0,256	0,084
21	0,099	0,341	0,844	1,520	2,077	2,260	2,346	2,412	2,275	1,942	1,657	1,308	0,814	0,350	0,114
22	0,079	0,272	0,672	1,221	1,668	1,797	1,866	1,919	1,812	1,548	1,322	1,045	0,652	0,282	0,092
23	0,066	0,229	0,563	1,030	1,406	1,501	1,560	1,604	1,517	1,297	1,110	0,879	0,550	0,240	0,078
24	0,048	0,166	0,406	0,759	1,034	1,071	1,114	1,147	1,087	0,933	0,802	0,638	0,403	0,178	0,059

5.2.2 Zpracování oblasti 2

V druhé oblasti můžeme pozorovat nižší množství instalovaných zdrojů, napříč tomu, že jsou si obě vybrané oblasti rozsahem i množstvím odběratelů velmi podobné. To lze vysvětlit způsobem provozu druhé oblasti, a to pomocí venkovního vedení s nižším průřezem. Obrázek (Obrázek 5.2) vyobrazuje stávající elektrárny vyznačeny černě a nově připojené elektrárny modře.



Obrázek 5.2 Schéma vedení druhé oblasti s přidávanými novými zdroji (označené modře)

Tabulka 5.5 Vypočtená data pro oblast 2 v únoru

Číslo	Rozdíl napětí (%)								
	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
1	0,617	0,987	1,273	1,427	1,505	1,366	1,250	1,037	0,685
2	0,218	0,399	0,539	0,615	0,653	0,585	0,528	0,423	0,251
3	0,096	0,172	0,232	0,264	0,280	0,251	0,227	0,183	0,110
4	0,293	0,559	0,765	0,875	0,932	0,831	0,748	0,595	0,341
5	0,230	0,436	0,595	0,681	0,724	0,647	0,582	0,463	0,268
6	0,608	0,969	1,248	1,398	1,474	1,338	1,225	1,017	0,674
7	0,606	0,965	1,242	1,392	1,467	1,333	1,220	1,013	0,672

Podle hodnot (viz Tabulka 5.5) lze usuzovat, že síť není natolik vytížená, aby nebylo možné připojit další zdroje. V jedenáct hodin dochází k nejvyšší produkci elektrické energie z FVE, ale i tak je maximální rozdíl napětí 1,5 %. Ani v tomto případě se však hodnota neblíží k limitní hranici 3 %. Po připojení šesti nových elektráren vyznačených v schématu v kapitole 3 došlo k vyčerpání celkové kapacity sítě v jedenáct hodin.

Z výsledku simulace pro měsíc červen (Tabulka 5.6) vyplývá, že by mohlo dojít k menšímu navýšení instalovaného výkonu stávajících elektráren.

Tabulka 5.6 Vypočtená data pro oblast 2 v červnu

Číslo	Rozdíl napětí (%)														
	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
1	0,364	0,646	1,205	1,821	2,323	2,637	2,788	2,722	2,670	2,439	2,055	1,636	1,089	0,580	0,353
2	0,096	0,236	0,513	0,819	1,069	1,226	1,301	1,268	1,242	1,127	0,935	0,727	0,455	0,203	0,091
3	0,044	0,102	0,218	0,346	0,450	0,515	0,546	0,533	0,522	0,474	0,394	0,308	0,194	0,089	0,041
4	0,115	0,319	0,725	1,172	1,539	1,767	1,877	1,829	1,791	1,623	1,343	1,038	0,640	0,272	0,107
5	0,093	0,251	0,565	0,912	1,196	1,373	1,458	1,421	1,392	1,261	1,044	0,808	0,499	0,214	0,086
6	0,361	0,636	1,181	1,782	2,272	2,578	2,725	2,661	2,611	2,385	2,010	1,602	1,068	0,572	0,349
7	0,360	0,634	1,176	1,774	2,262	2,566	2,712	2,649	2,598	2,374	2,001	1,595	1,063	0,570	0,349

V červnu nebylo možné připojit nové zdroje od 9:00 do 13:00. V osm hodin mohla být připojena pouze první dodatečná elektrárna. Ve dvě hodiny odpoledne mohly být připojeny již první tři vyznačené elektrárny. Do sedmé hodiny a od třetí hodiny odpoledne mohly být připojeny všechny nově připojené elektrárny.

5.3 Fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm

Obsahem této kapitoly je porovnání výsledků z předchozí kapitoly s novými výsledky pro provoz elektrárny s přidaným bateriovým úložištěm. To by mělo snížit zatížení sítě v kritických časech a tím pádem umožnit připojení nových zdrojů.

5.3.1 Zpracování oblasti 1

Při využití bateriového systému dle modelové situace lze ze získaných výsledků (Tabulka 5.7 a Tabulka 5.8) potvrdit značné snížení rozdílu napětí v kritických časech u všech sledovaných elektráren. U elektráren s nejvyšší hodnotou rozdílu napětí došlo ke snížení až o sedm desetin procenta. A umožnilo i v časech dříve neumožňující připojení nové zdroje připojit čtyři nové zdroje v 10:00, 11:00 a 12:00 a pět nových zdrojů v časech v 9:00.

Tabulka 5.7 Vypočtené rozdíly napětí s a bez baterií pro první oblast v červenci

Číslo	Rozdíl napětí bez baterií (%)				Rozdíl napětí s baterií (%)			
	9:00	10:00	11:00	12:00	9:00	10:00	11:00	12:00
1	2,741	2,845	2,924	2,757	2,079	2,185	2,222	2,158
2	1,831	1,912	1,975	1,874	1,376	1,460	1,495	1,463
3	2,045	2,134	2,203	2,088	1,538	1,629	1,668	1,630
4	1,506	1,564	1,609	1,521	1,143	1,204	1,226	1,192
5	1,530	1,589	1,635	1,545	1,161	1,223	1,245	1,211
6	2,039	2,117	2,176	2,054	1,548	1,628	1,656	1,610
7	2,677	2,788	2,875	2,720	2,016	2,131	2,177	2,123
8	2,769	2,873	2,954	2,785	2,100	2,207	2,245	2,179
9	1,838	1,909	1,963	1,853	1,394	1,467	1,493	1,451
10	2,738	2,841	2,921	2,753	2,076	2,183	2,220	2,155
11	1,397	1,494	1,575	1,527	1,004	1,107	1,168	1,176
12	2,611	2,710	2,785	2,627	1,980	2,082	2,117	2,056
13	1,658	1,722	1,771	1,673	1,258	1,324	1,348	1,311
14	1,304	1,355	1,394	1,319	0,991	1,044	1,063	1,035
15	1,431	1,487	1,530	1,447	1,087	1,145	1,166	1,135
16	1,716	1,782	1,833	1,731	1,302	1,370	1,395	1,356
17	1,346	1,398	1,439	1,361	1,023	1,077	1,097	1,068
18	1,593	1,655	1,702	1,609	1,209	1,273	1,296	1,261
19	2,772	2,876	2,956	2,787	2,102	2,209	2,247	2,181
20	1,616	1,679	1,727	1,631	1,227	1,291	1,314	1,278
21	2,260	2,346	2,412	2,275	1,715	1,803	1,834	1,782
22	1,797	1,866	1,919	1,812	1,363	1,435	1,460	1,419
23	1,501	1,560	1,604	1,517	1,140	1,200	1,222	1,189
24	1,071	1,114	1,147	1,087	0,816	0,860	0,876	0,854

Dále byla prováděna simulace pro měsíc srpen, při porovnání tabulek (Tabulka 5.7 a Tabulka 5.8) lze vidět pokles rozdílů napětí, jak pro rozdíly napětí bez baterií a s bateriemi.

Tabulka 5.8 Vypočtené rozdíly napětí s a bez baterií pro první oblast v srpnu

Číslo	Rozdíl napětí bez baterií (%)				Rozdíl napětí s baterií (%)			
	9:00	10:00	11:00	12:00	9:00	10:00	11:00	12:00
1	2,673	2,781	2,818	2,755	2,150	2,253	2,334	2,159
2	1,779	1,864	1,900	1,869	1,430	1,510	1,575	1,468
3	1,988	2,081	2,120	2,083	1,598	1,686	1,756	1,635
4	1,468	1,530	1,552	1,520	1,183	1,242	1,288	1,194
5	1,491	1,554	1,576	1,543	1,202	1,261	1,308	1,213
6	1,988	2,069	2,098	2,053	1,601	1,679	1,740	1,611
7	2,604	2,721	2,767	2,714	2,092	2,202	2,291	2,128
8	2,700	2,809	2,847	2,783	2,172	2,276	2,358	2,181
9	1,792	1,866	1,893	1,852	1,443	1,513	1,569	1,453
10	2,670	2,778	2,815	2,752	2,148	2,250	2,332	2,157
11	1,337	1,441	1,502	1,510	1,067	1,164	1,246	1,193
12	2,546	2,649	2,685	2,625	2,049	2,147	2,224	2,058
13	1,616	1,684	1,708	1,672	1,302	1,366	1,416	1,313
14	1,271	1,325	1,345	1,318	1,026	1,077	1,117	1,037
15	1,395	1,454	1,476	1,445	1,126	1,181	1,225	1,136
16	1,673	1,742	1,768	1,730	1,348	1,413	1,466	1,358
17	1,312	1,367	1,388	1,359	1,059	1,111	1,153	1,069
18	1,553	1,618	1,642	1,607	1,252	1,313	1,362	1,262
19	2,702	2,812	2,850	2,785	2,174	2,278	2,360	2,183
20	1,575	1,641	1,665	1,630	1,270	1,332	1,381	1,280
21	2,203	2,293	2,325	2,274	1,774	1,859	1,927	1,784
22	1,752	1,825	1,851	1,811	1,411	1,480	1,534	1,421
23	1,463	1,525	1,547	1,515	1,180	1,238	1,284	1,191
24	1,044	1,089	1,107	1,085	0,845	0,887	0,921	0,856

5.3.2 Zpracování oblasti 2

Výsledky pro simulaci druhé oblasti odpovídají výsledkům z první oblasti. Došlo k výraznému snížení rozdílu napětí u všech zdrojů nejvíce pak u těch blížících se limitní hodnotě. V tabulce (Tabulka 5.9) lze pozorovat pokles až na hranici dvou procent u zdrojů s nejhroššími změnami napětí.

Tabulka 5.9 Vypočtené rozdíly napětí s a bez baterií pro druhou oblast v květnu

Číslo	Rozdíl napětí bez baterií (%)				Rozdíl napětí s baterií (%)			
	9:00	10:00	11:00	12:00	9:00	10:00	11:00	12:00
1	2,612	2,645	2,673	2,503	2,060	2,094	2,121	1,949
2	1,213	1,230	1,244	1,159	0,938	0,955	0,968	0,883
3	0,510	0,517	0,522	0,487	0,396	0,403	0,408	0,373
4	1,749	1,773	1,793	1,669	1,347	1,371	1,391	1,266
5	1,359	1,378	1,393	1,297	1,047	1,066	1,081	0,984
6	2,554	2,586	2,613	2,447	2,016	2,048	2,075	1,907
7	2,542	2,574	2,601	2,436	2,006	2,039	2,066	1,898

Pro červen i květen lze připojit ve všech vybraných časech pouze první tři fotovoltaické elektrárny.

Tabulka 5.10 Vypočtené rozdíly napětí s a bez baterií pro druhou oblast v červnu

Číslo	Rozdíl napětí bez baterií (%)				Rozdíl napětí s baterií (%)			
	9:00	10:00	11:00	12:00	9:00	10:00	11:00	12:00
1	2,637	2,788	2,722	2,670	2,085	2,238	2,171	2,119
2	1,226	1,301	1,268	1,242	0,950	1,026	0,993	0,967
3	0,515	0,546	0,533	0,522	0,401	0,432	0,419	0,408
4	1,767	1,877	1,829	1,791	1,365	1,476	1,428	1,389
5	1,373	1,458	1,421	1,392	1,061	1,147	1,110	1,080
6	2,578	2,725	2,661	2,611	2,040	2,189	2,124	2,073
7	2,566	2,712	2,649	2,598	2,031	2,179	2,114	2,063

Provedené simulace reflektovaly produkci na základě ozáření dle dat získaných z PVGIS a ukázala možnost připojení několika nových fotovoltaických elektráren.

V tomto případě všechny nové zdroje jsou orientovány na jih. V případě odlišné orientace (na východ/západ) by došlo k možnosti připojení dalších zdrojů z důvodu časového posunu maximální produkce dané elektrárny.

Tento náhled pouze ukazuje možnosti navýšení připojitelnosti zdrojů dané uvažováním limitací FVE panelů, ale v současné době do této problematiky vstupuje i přicházející komunitní energetika a trh s elektrickou energií, který může ovlivnit chování spotřebitelů.

Použití bateriového úložiště dle vytvořeného modelu může snížit zatížení sítě a vytvoří možnost připojení nových zdrojů. Při úvaze dobíjení baterie v kritických časech, tedy v průběhu maximálních produkce (po dobu výkonů po dobu čtyř hodin dané výkonem a kapacitou baterie).

6. ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo prozkoumat oblast připojovacích podmínek nových zdrojů, primárně fotovoltaických, a prozkoumat nové možnosti posuzování elektráren a jejich vliv na distribuční soustavu při uvažování komplexnějšího modelu fotovoltaické elektrárny.

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 připojený k distribuční soustavě. 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. Hlavními faktory, u fotovoltaických elektráren, jsou intenzita ozáření, která se jednak mění v čase ale i podle orientace dané elektrárny a hodnota impedance v místě připojení elektrárny. Se stále rostoucím podílem fotovoltaických zdrojů bude hrát větší roli i využití přebytečné elektrické energie v rámci odběrného místa, tedy využití bateriového úložiště.

Praktická část se zabývá simulací vytvořených modelů na dvou reálných oblastech v distribuční síti provozované společností EG.D, a.s.

Pro první simulaci byl využit model, který uvažoval rozdíl v zatížení pro všední den a víkend. Nicméně simulace ukázala, že rozdíl mezi dosaženými výsledky byl minimální. Díky tomu bylo možné dosáhnout zjednodušení následných simulací.

V intervalu od listopadu do ledna by bylo možné navýšit instalovaný výkon stávajících zdrojů až pětinašobně, a to i v časech maximální výroby elektrické energie. Měsíce únor a listopad vychází velmi podobně. Měsíce březen a září tvoří přechod mezi zimními a letními měsíci. U první dvojice měsíců je stále možné navýšení výkonu zdrojů v čase maxima, téměř dvojnásobně zato u druhé dvojice se tato hodnota mění na pouhou pětinu stávajícího instalovaného výkonu. Ve zbývajících měsících dochází v časech maximální výroby k téměř

plnému využití energetického potenciálu elektráren. V tomto období není možné dosáhnout navýšení instalovaného výkonu.

Výrazný vliv na navýšení instalovaného výkonu mají bateriové systémy, po jejich zahrnutí do simulací došlo k výraznému snížení rozdílu napětí. Připojením modelového bateriového systému se v letních měsících docílilo navýšení připojitelnosti i období maximální výroby.

Vzhledem ke složitosti popisu připojitelnosti nových zdrojů nebyla hodnota volného výkonu vztažena k novým fotovoltaickým zdrojům ale ke stávajícím. Jelikož se pro modelování spotřeby ve vybraných oblastech využívali TDD nejsou dosažené výsledky odrazem skutečnosti, jelikož nedokáží reflektovat špičkové výkyvy spotřeby typické pro maloodběratele.

Využitím reálnějšího modelu provozu fotovoltaické elektrárny by mohlo dojít k využití většího množství zdrojů v časech nižšího energetického potenciálu. Avšak vyvstává otázka řízení všech zdrojů v síti nízkého napětí a tím navýšení nákladů jak na vybudování zdroje, tak i na provoz distribuční soustavy. Při implementaci by muselo také dojít k výrazné změně ve schvalovacím procesu, kde by došlo k výraznému navýšení složitosti při vyhodnocení možnosti připojení.

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-i-sla-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
- [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
- [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
- [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. 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 – čtyřčlenná 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] Třidy typových diagramů dodávek. In: Eru [online]. [cit. 2023-05-22].

- Dostupné z: 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-elektřiny/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
- [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>
- [20] CHYTRA, Martin. Analýza rozdílu mezi modelovanou spotřebou elektřiny a její reálnou hodnotou [online]. [cit. 2023-07-31]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/82541/F3-DP-2019-Chytra-Martin-Analyza_rozdlu_mezi_modelovnou_spotrebou_elektřiny_a_jeji_skutecnou_hodnotou.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Petr Kusý.
- [21] Výkupní cena elektřiny z fve [online]. [cit. 2023-07-31]. Dostupné z: https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fevolty.cz%2Ffve%2Fvykupni-cena-elektřiny-z-fve%2F%3Ffbclid%3DIwAR39ViZ35biIUTp3yVSswlt9Yc-oXHKFCNVU-1funwxsDxCWRlrzHT_ZSds&h=AT2mdjaOF7PQ8pjnU4W1KZPfb0qxAy-vIymwfbzXC4z_VoWrRhPUVuqB5R_rnqhugPU4u_eJJINpDcqP9zO1QIX-MQap71FpMkI8n_Dt0v0V4rsEAEK-AutcrctmHsdXZPyqIg
- [22] Novela energetického zákona (Lex OZE II) lidem a obcím konečně umožní sdílet elektřinu. Vyžaduje však opravy. *Hnutíduha* [online]. [cit. 2023-08-01]. Dostupné z: <https://hnutiduha.cz/aktualne/novela-energetickeho-zakona-lex-oze-ii-lidem-obcim-konecne-umozni-sdilet-elektřinu-vyžaduje>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

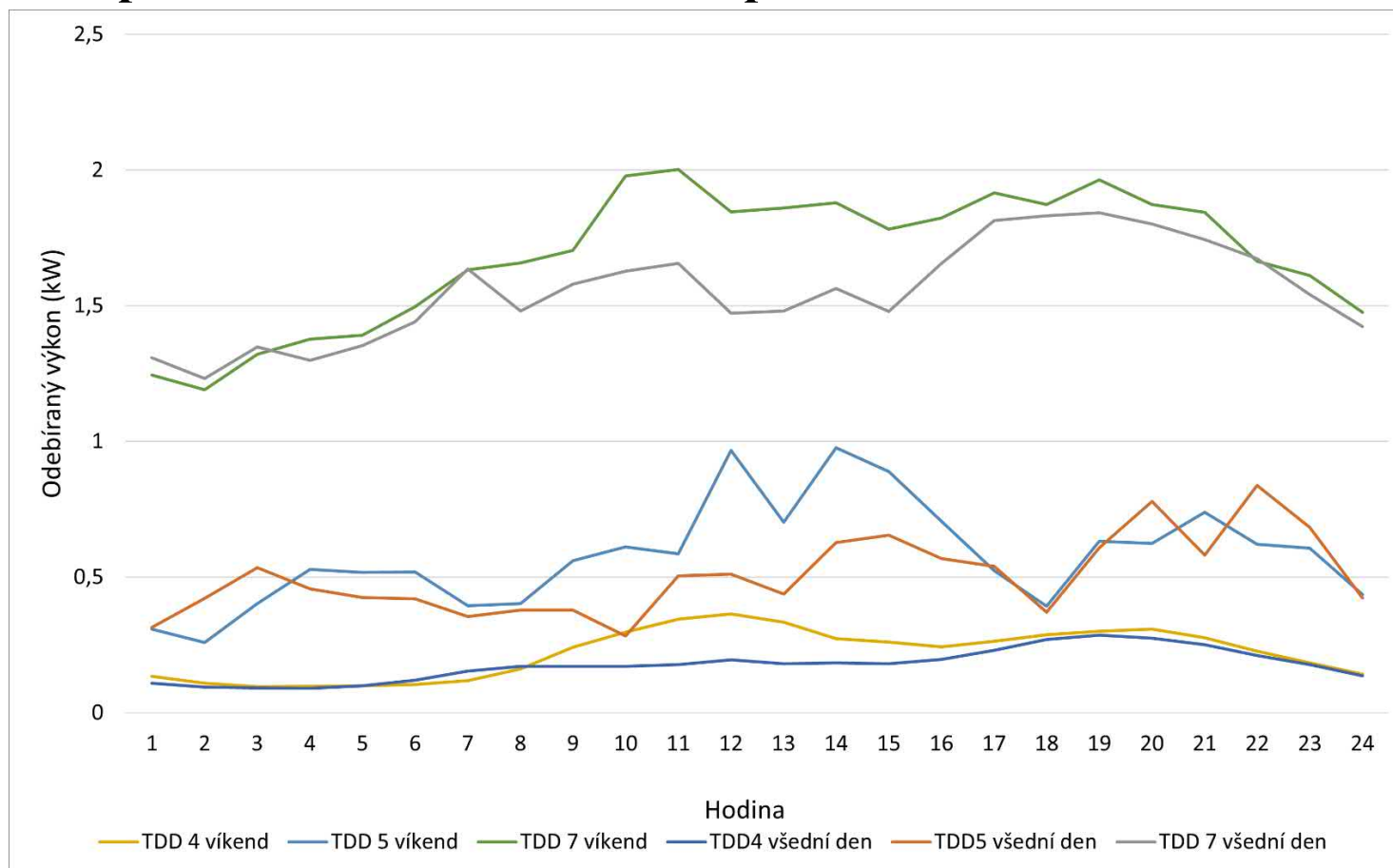
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DŘT	Dispečersky řízená technika
DS	Distribuční soustava
DTS	Distribuční transformační stanice
ERÚ	Energetický regulační úřad
FVE	Fotovoltaická elektrárna
LDS	Lokální distribuční soustava
MO	Odběrné místo
NN	Nízké napětí
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PDS	Provozovatel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

SEZNAM PŘÍLOH

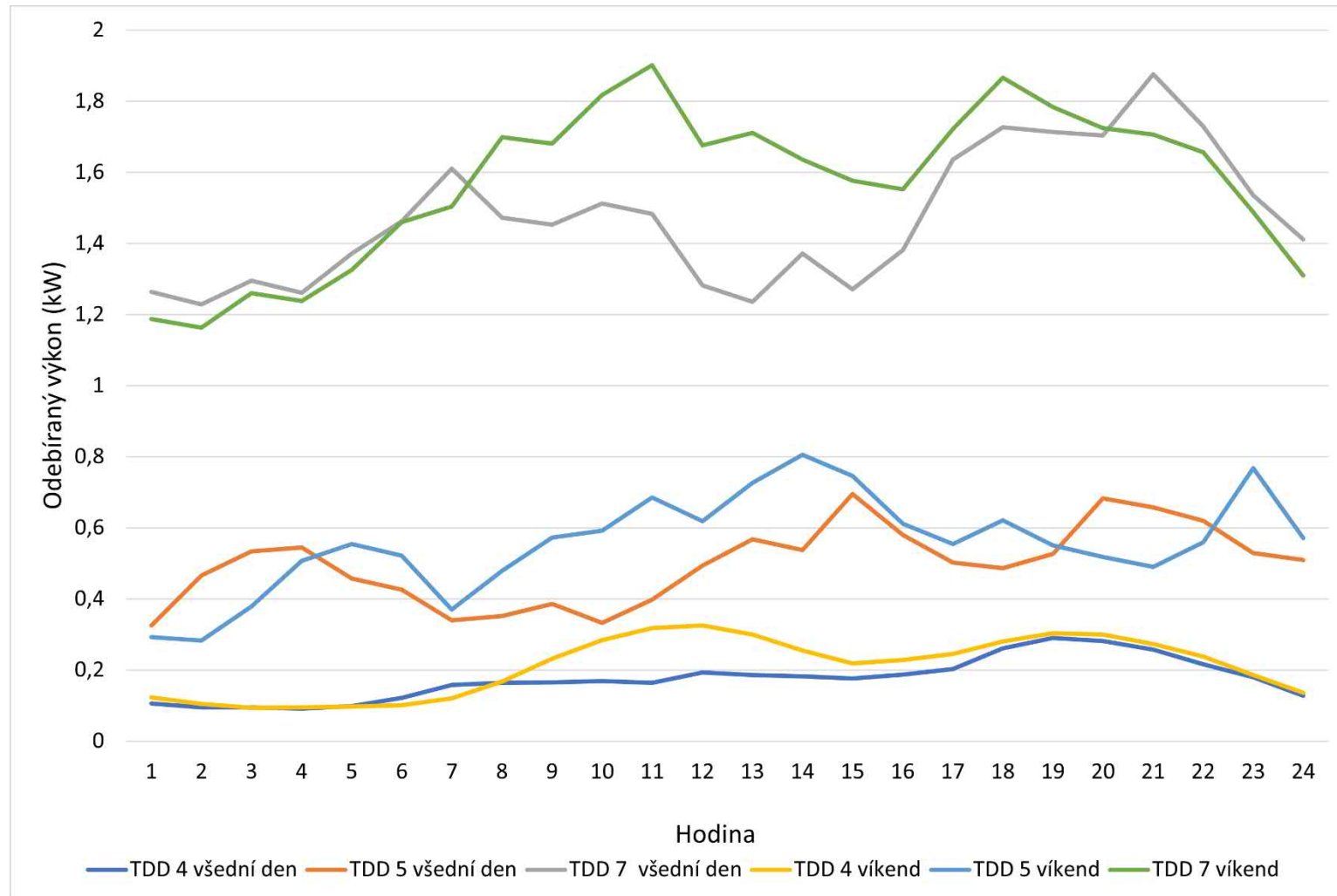
PŘÍLOHA A - GRAFICKÉ VÝSTUPY SPOTŘEBY ODBĚRATELŮ DLE TDD	54
PŘÍLOHA B - GRAFICKÉ VÝSTUPY PRŮMĚRNÉHO OZÁŘENÍ V PRŮBĚHU ROKU	66

Příloha A - Grafické výstupy spotřeby odběratelů dle TDD

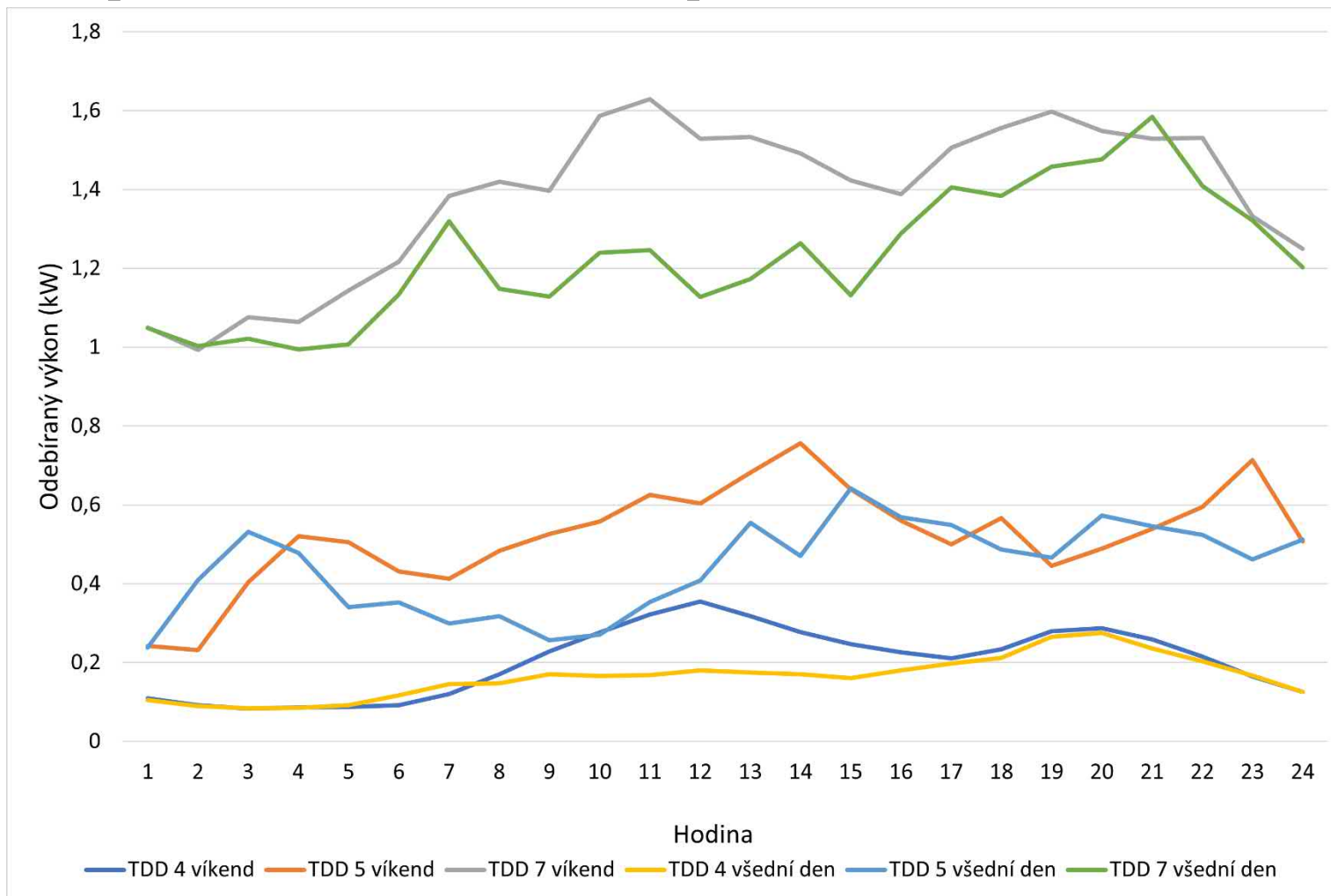
A.1 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc leden



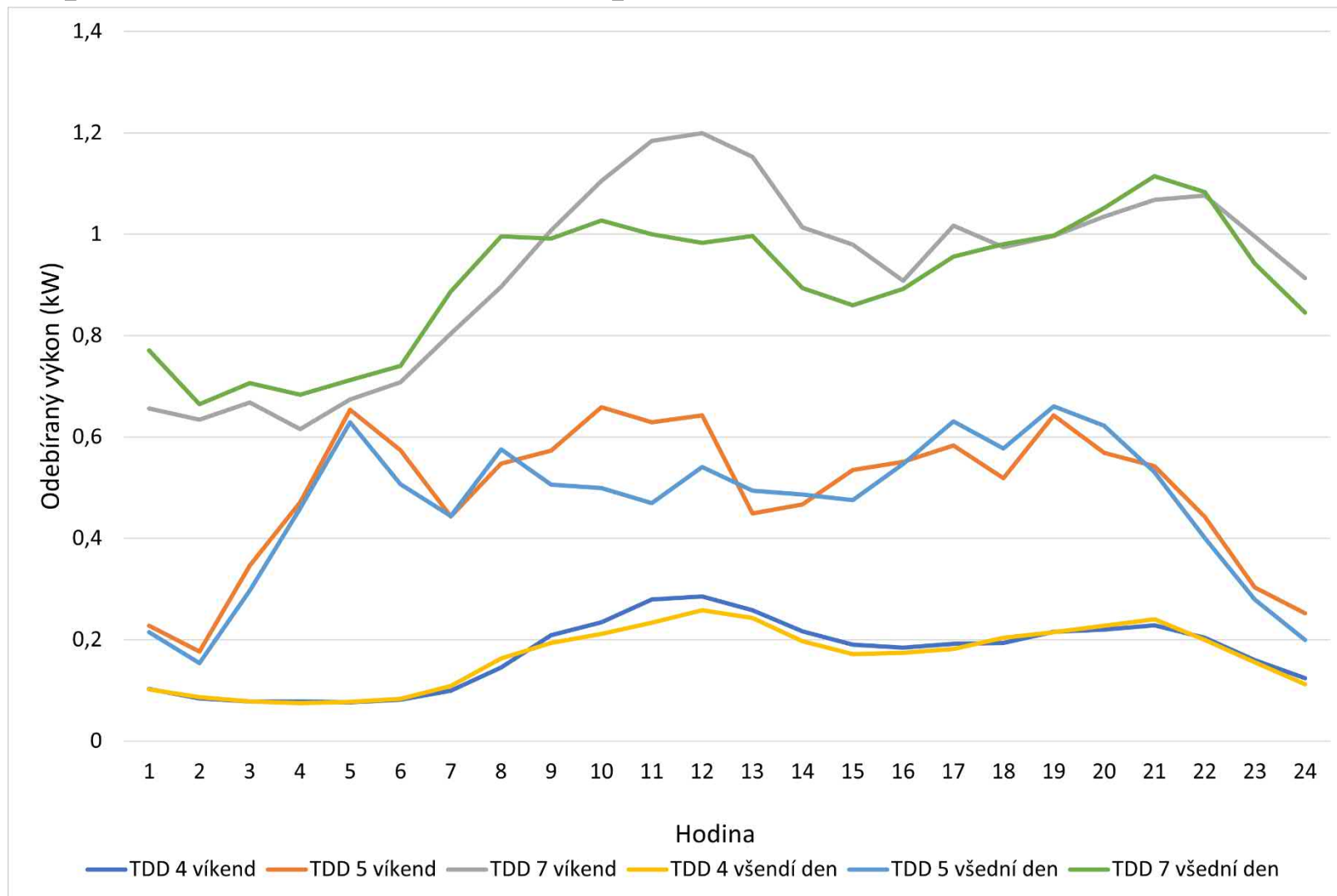
A.2 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc únor



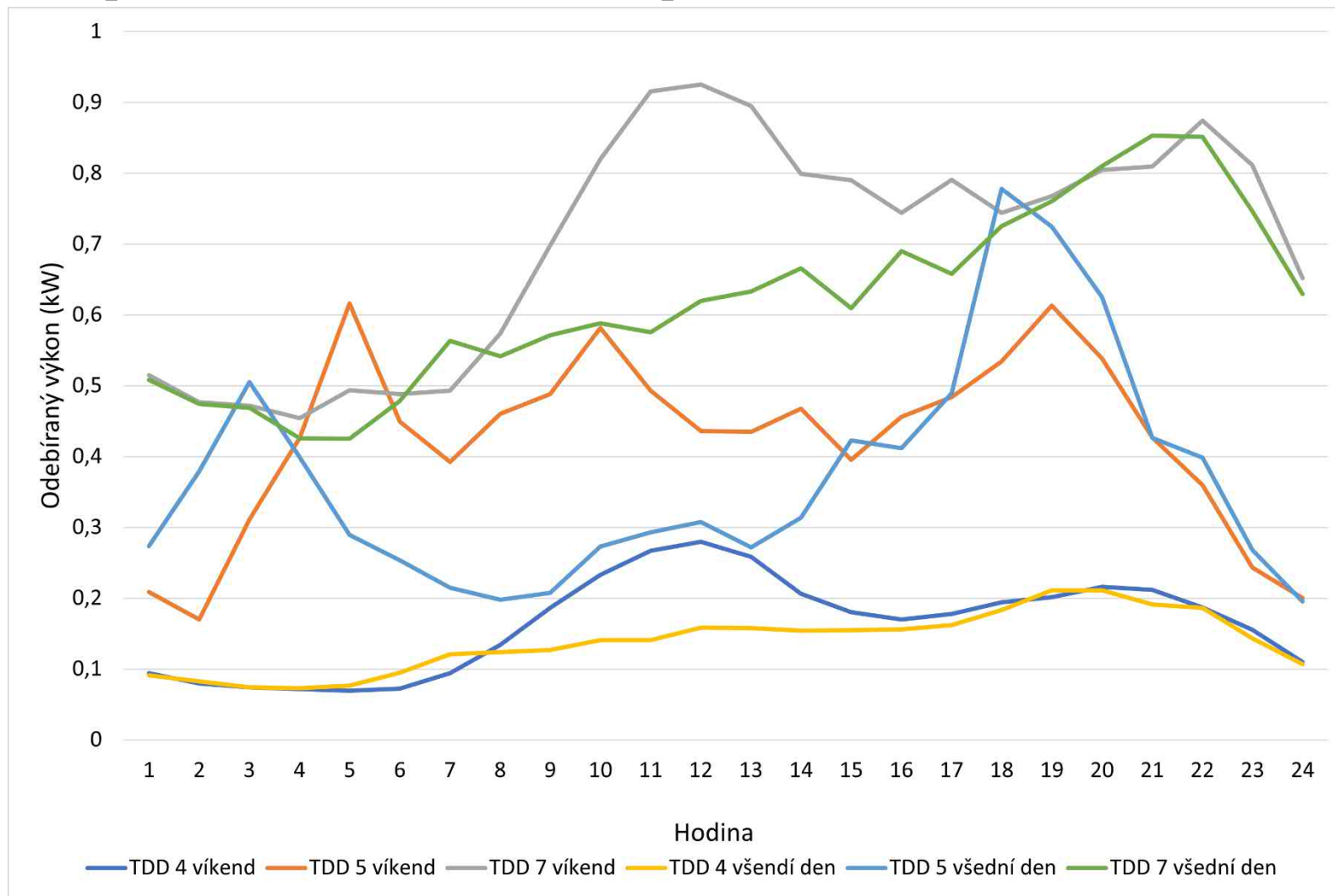
A.3 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc březen



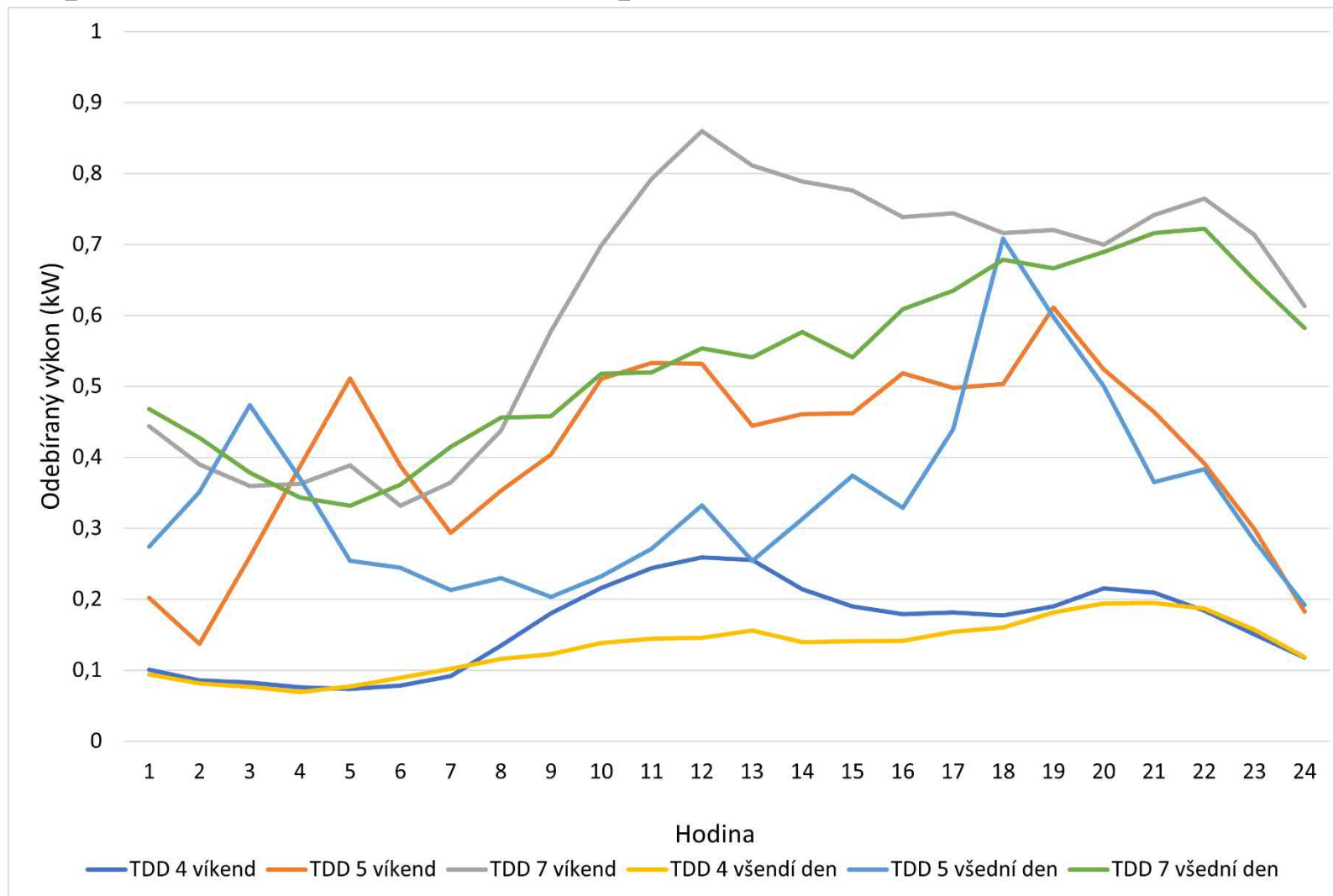
A.4 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc duben



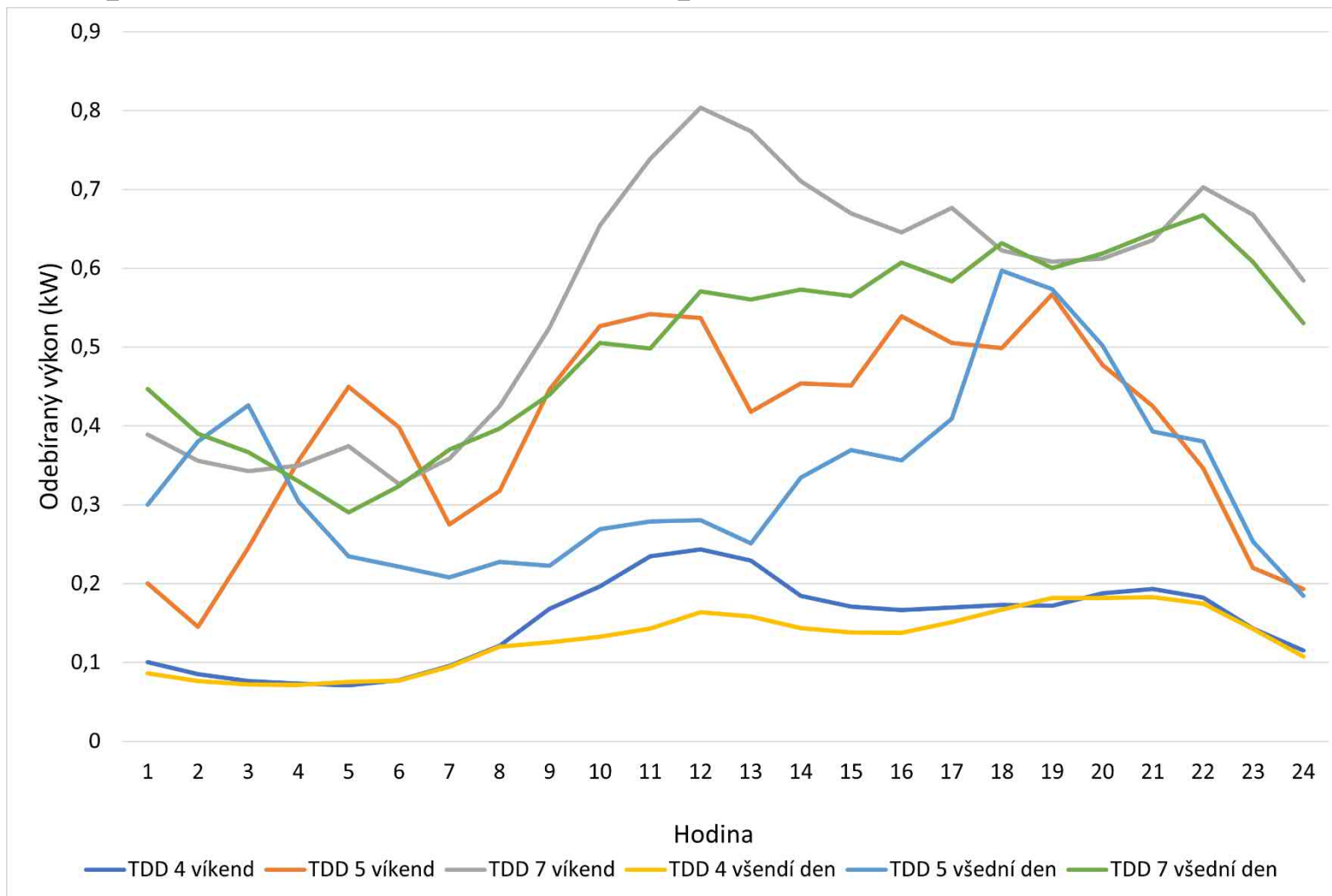
A.5 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc květen



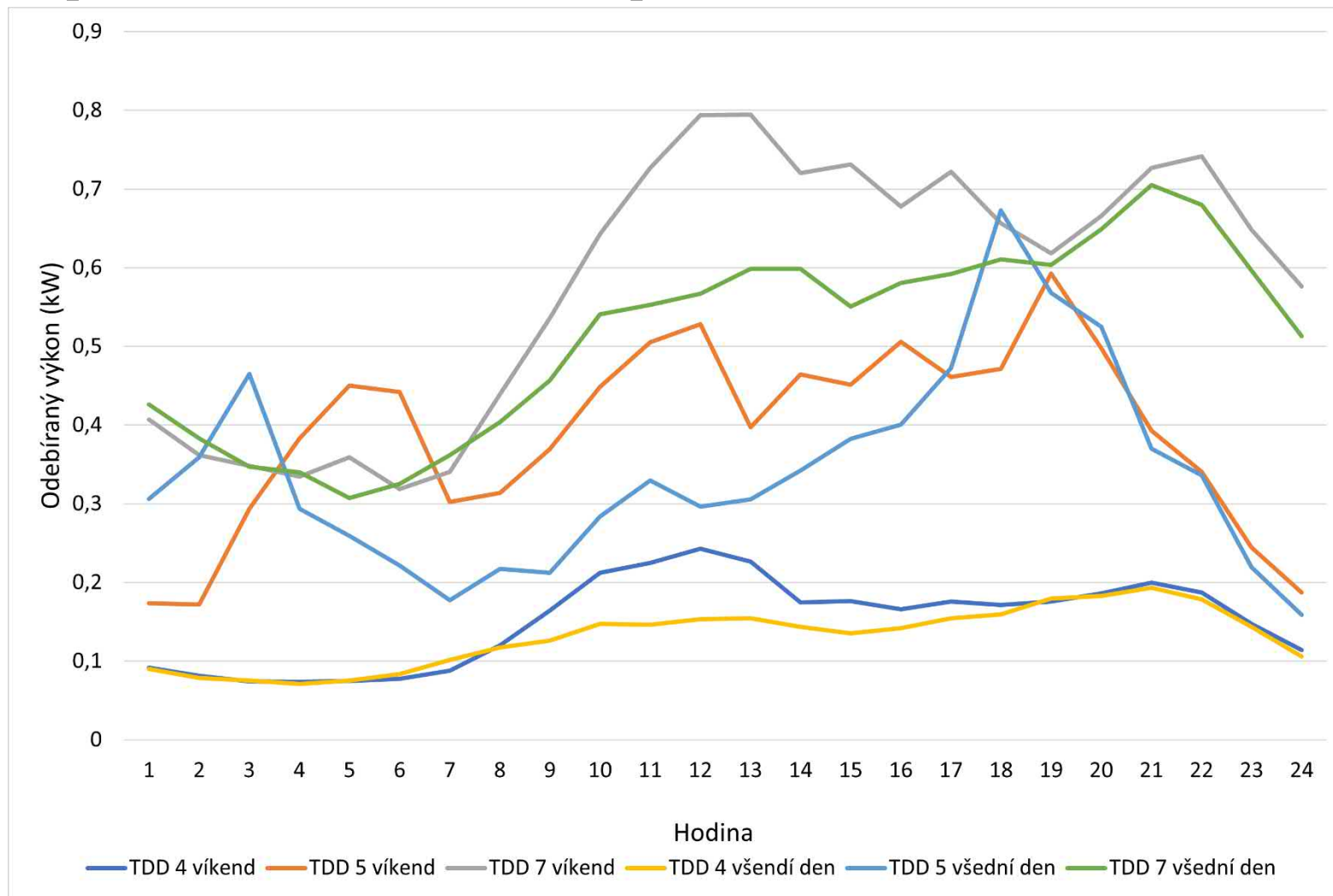
A.6 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc červen



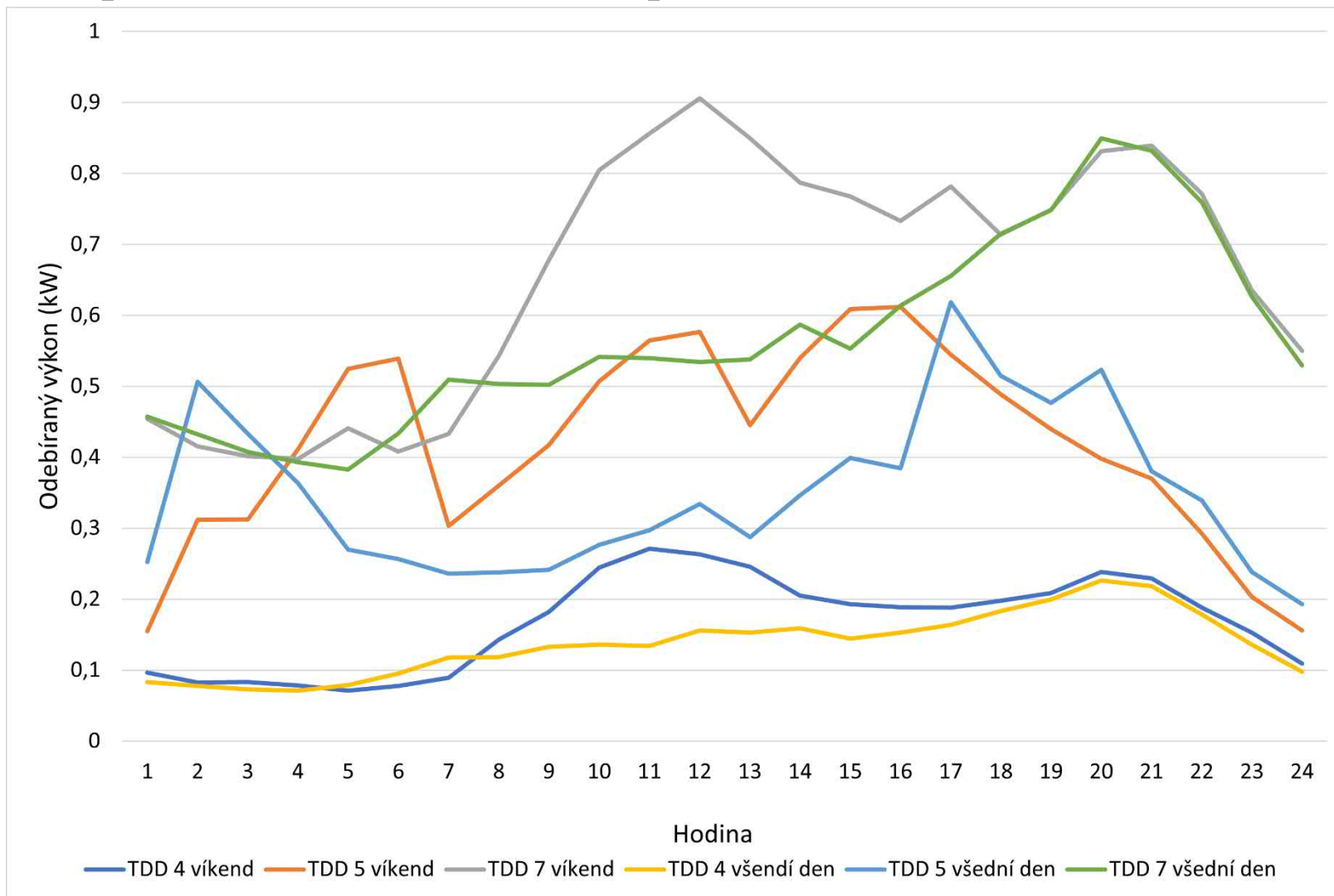
A.7 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc červenec



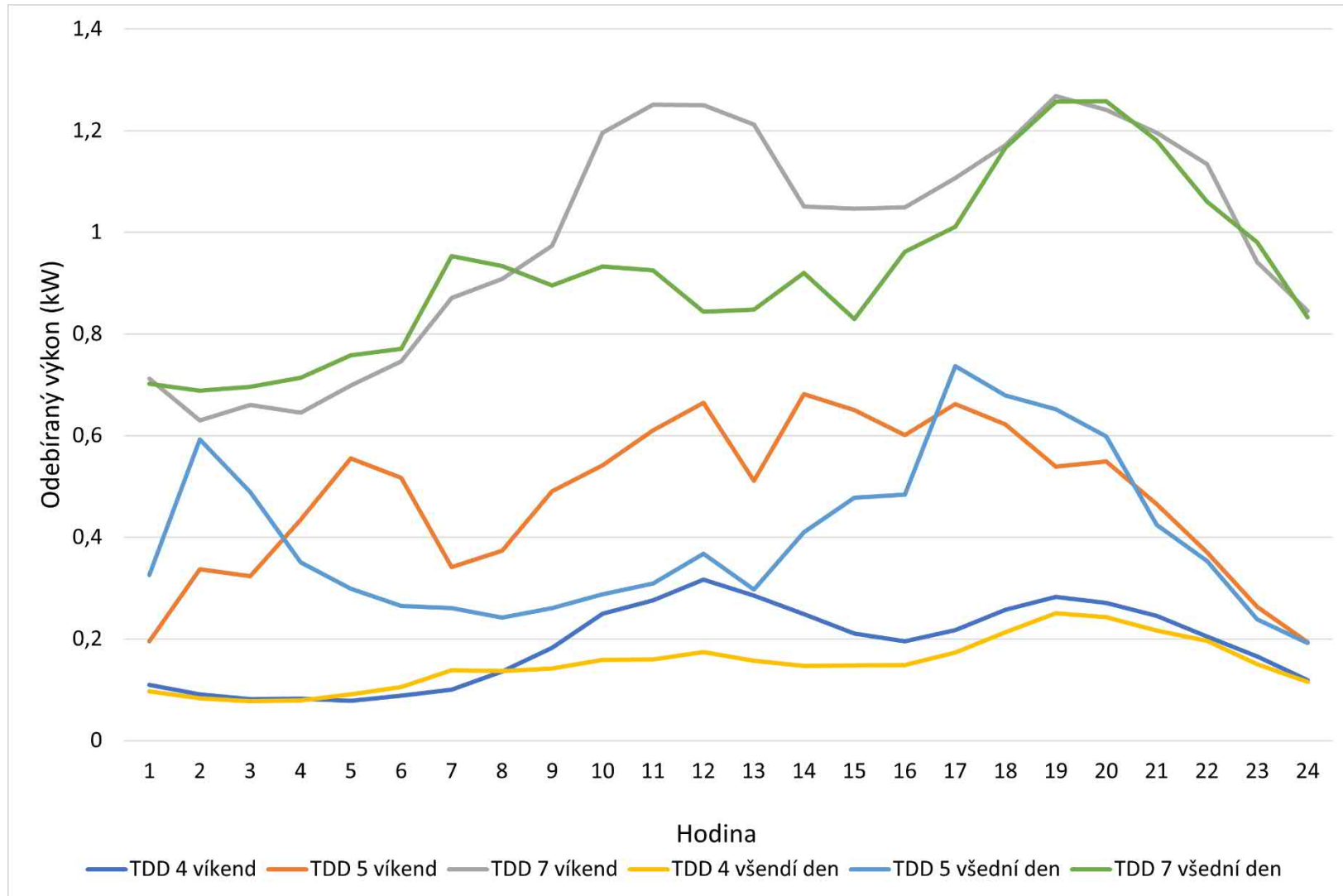
A.8 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc srpen



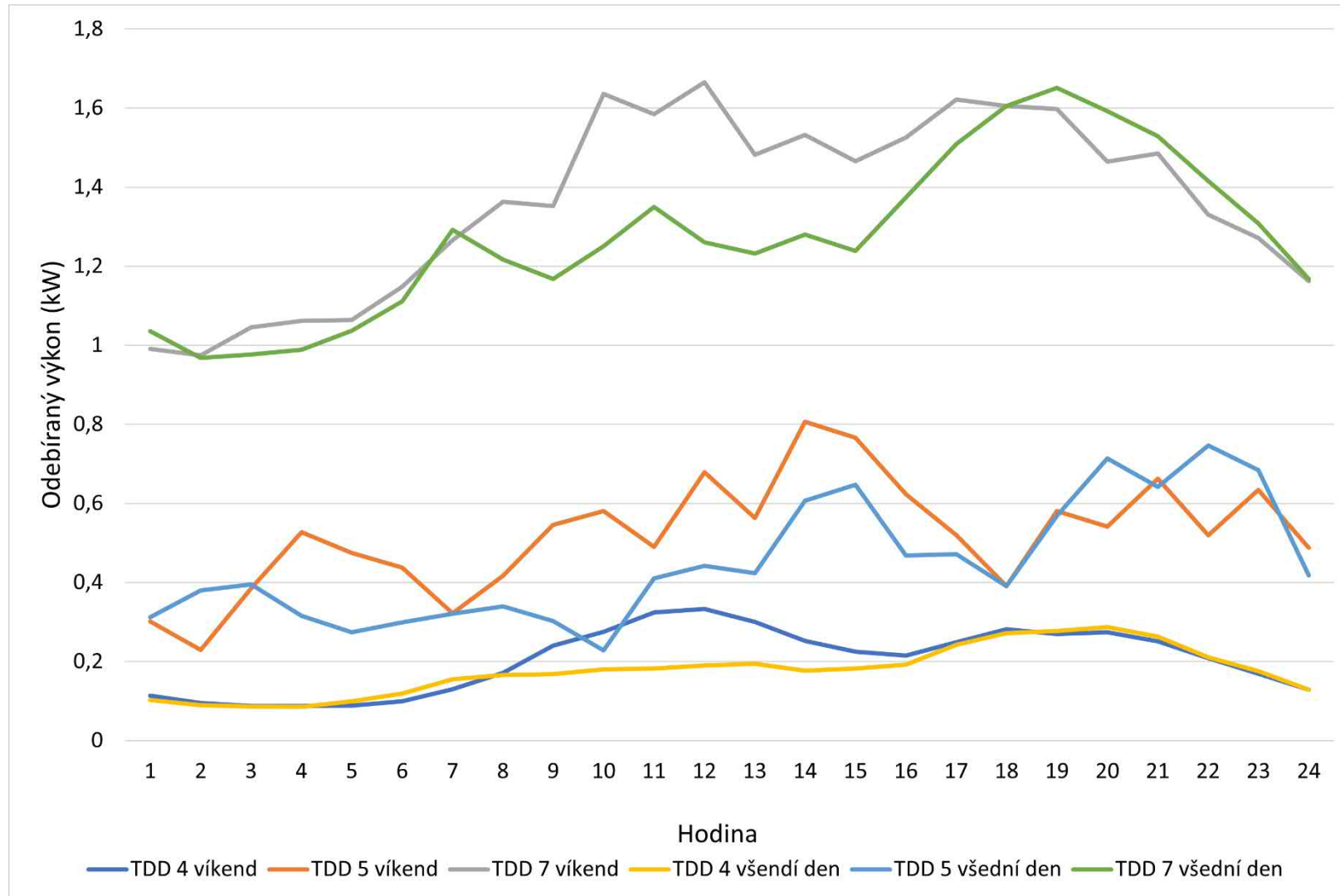
A.9 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc září



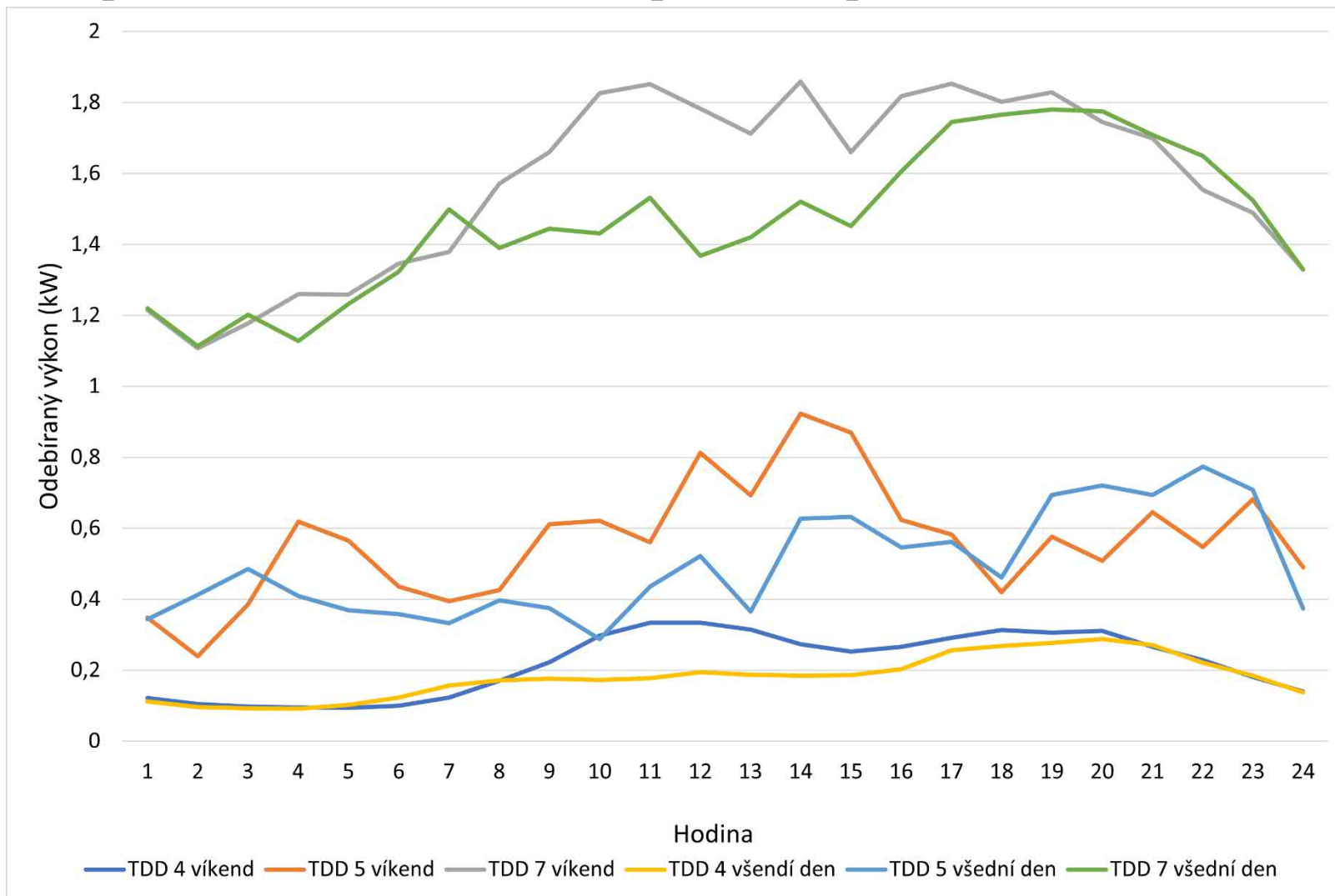
A.10 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc říjen



A.11 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc listopad

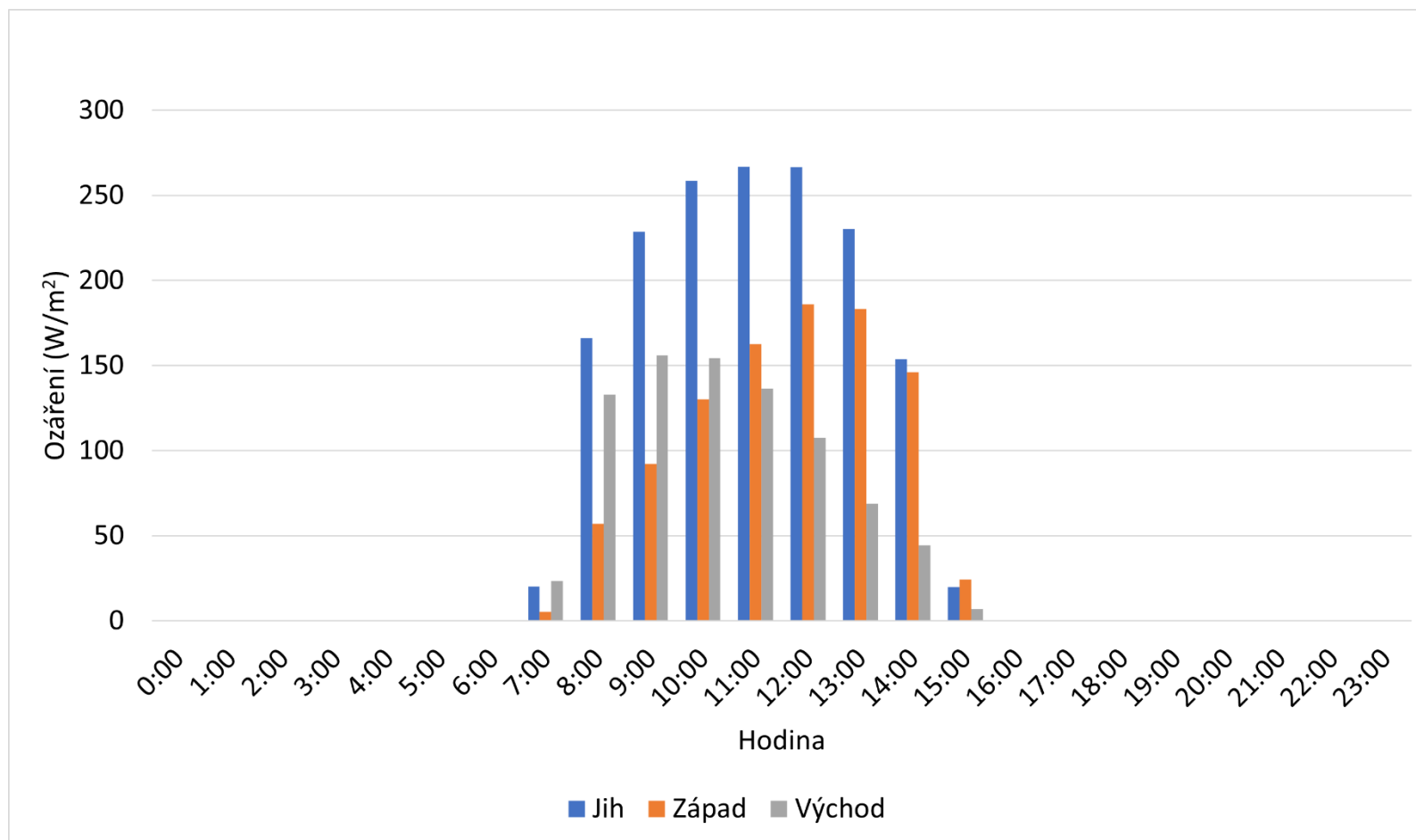


A.12 Spotřeba odběratelů dle TDD pro měsíc prosinec

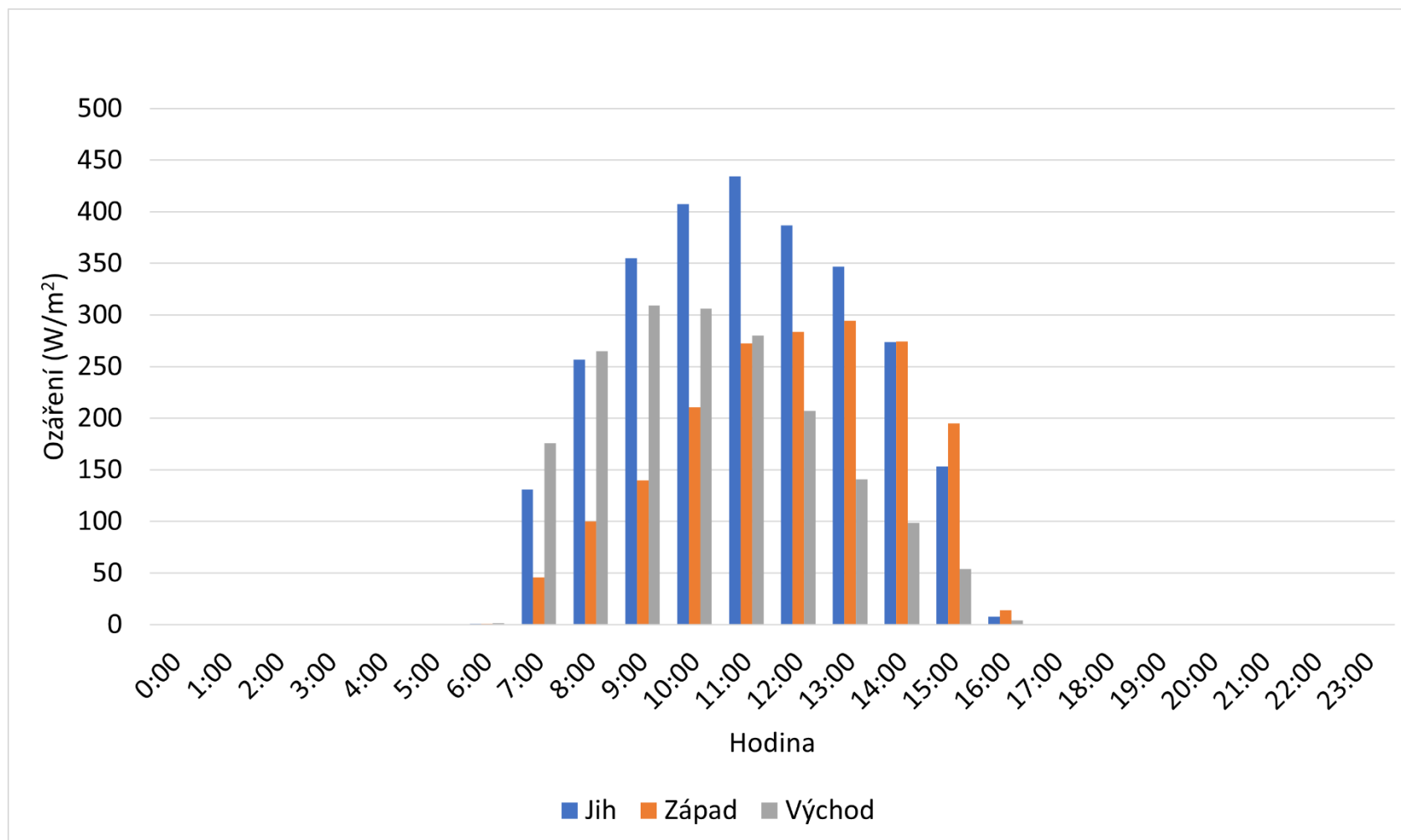


Příloha B - Grafické výstupy průměrného ozáření v průběhu roku

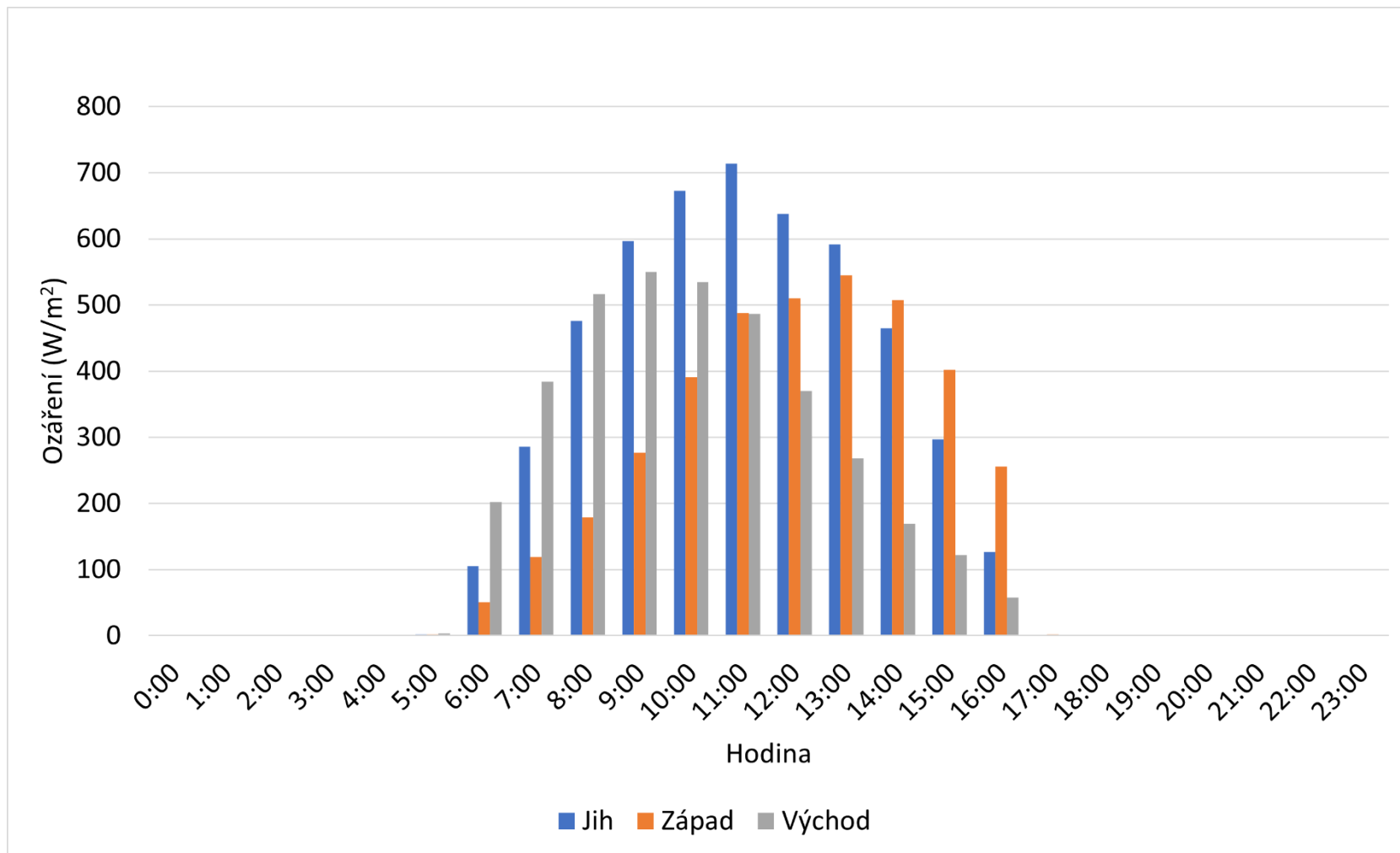
B.1 Průměrné ozáření FVE v měsíci lednu dle orientace



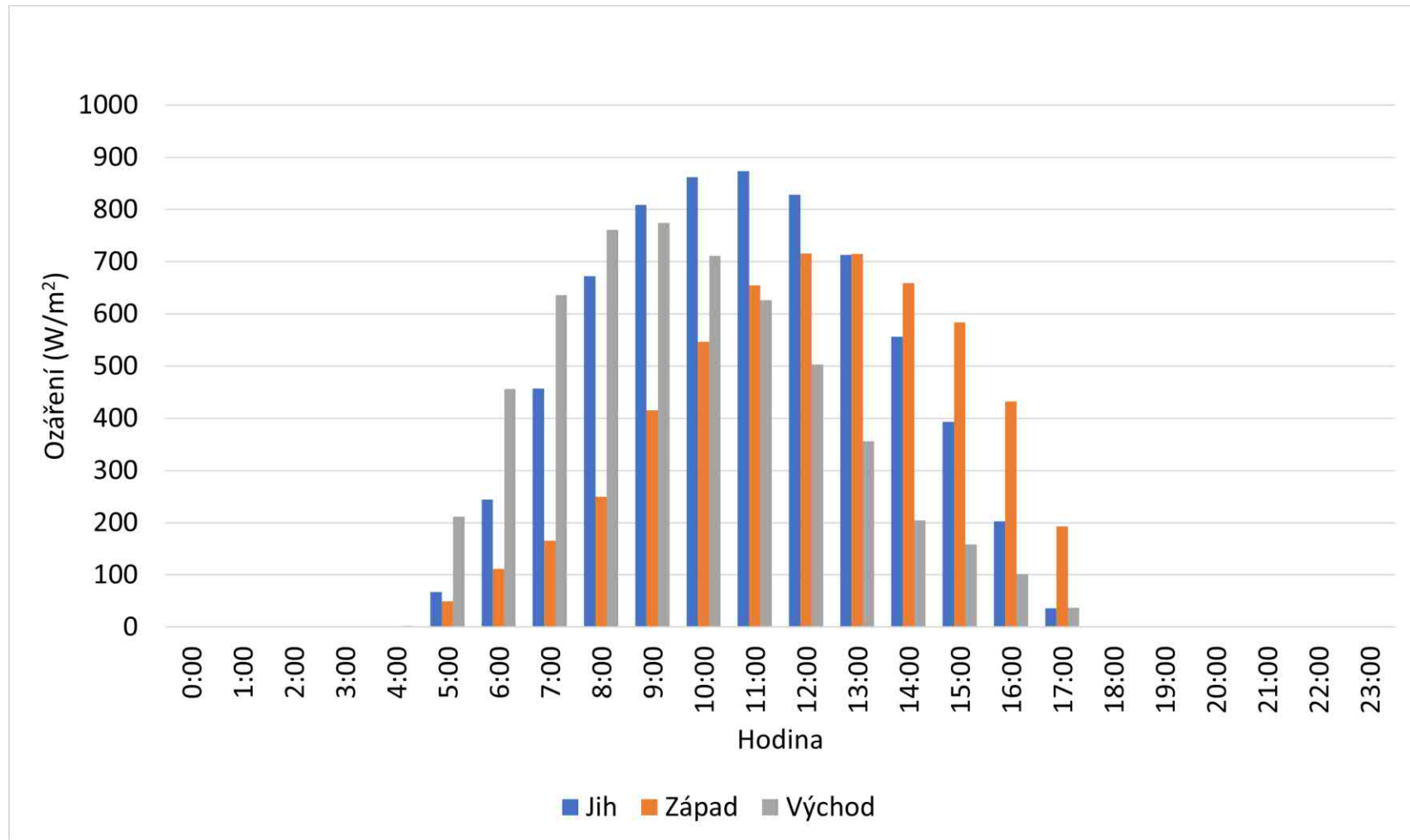
B.2 Průměrné ozáření FVE v měsíci únoru dle orientace



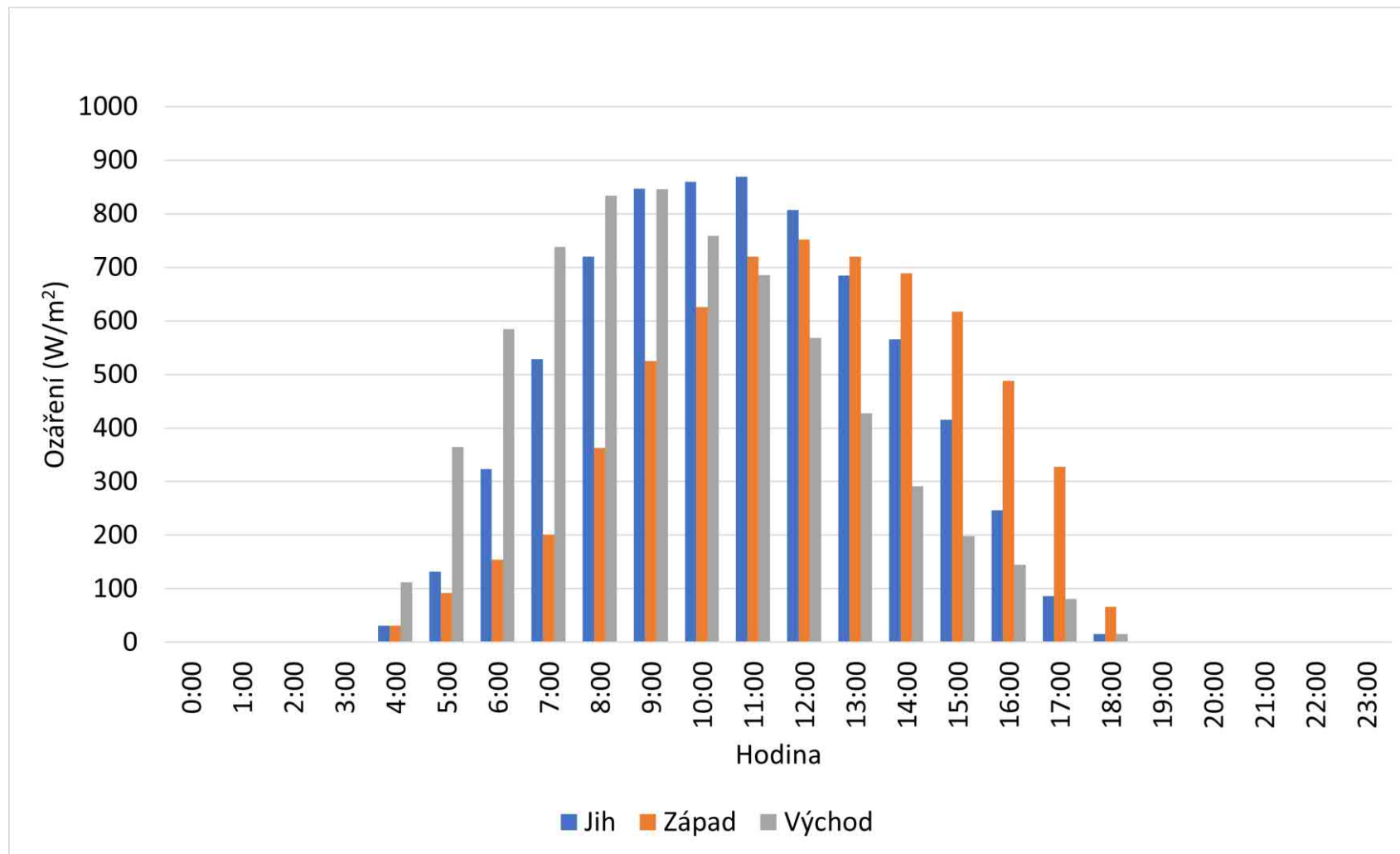
B.3 Průměrné ozáření FVE v měsíci březnu dle orientace



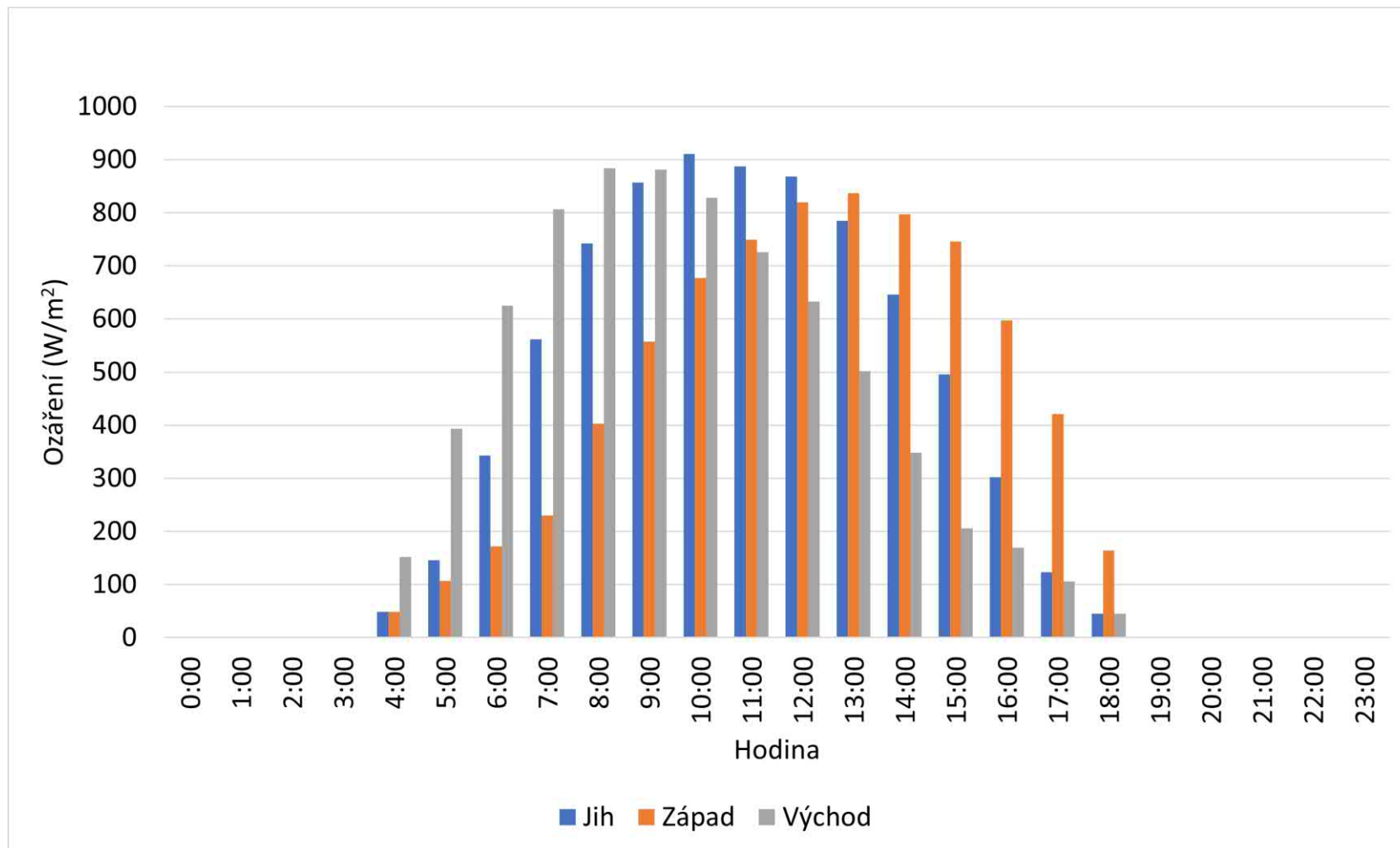
B.4 Průměrné ozáření FVE v měsíci dubnu dle orientace



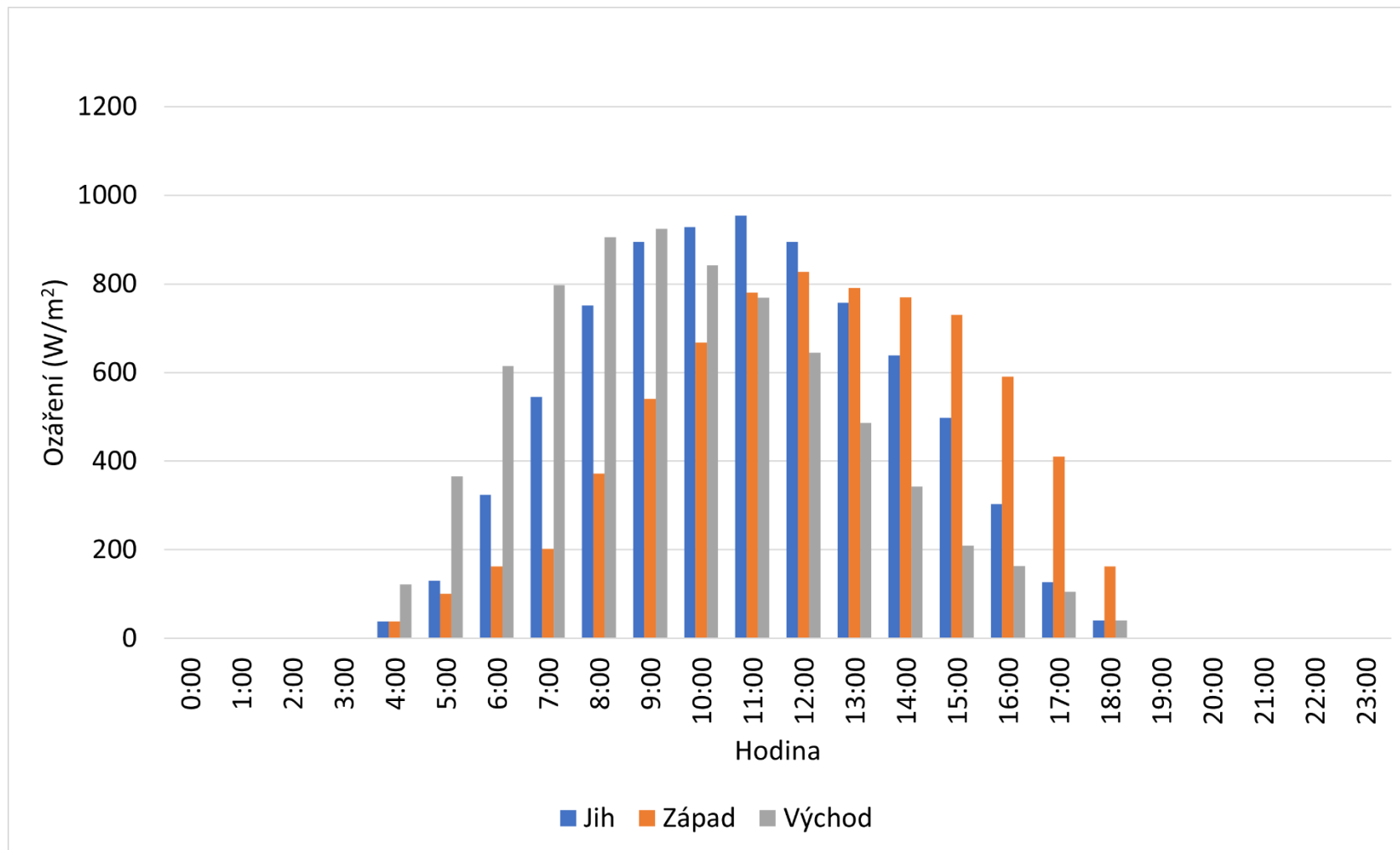
B.5 Průměrné ozáření FVE v měsíci květnu dle orientace



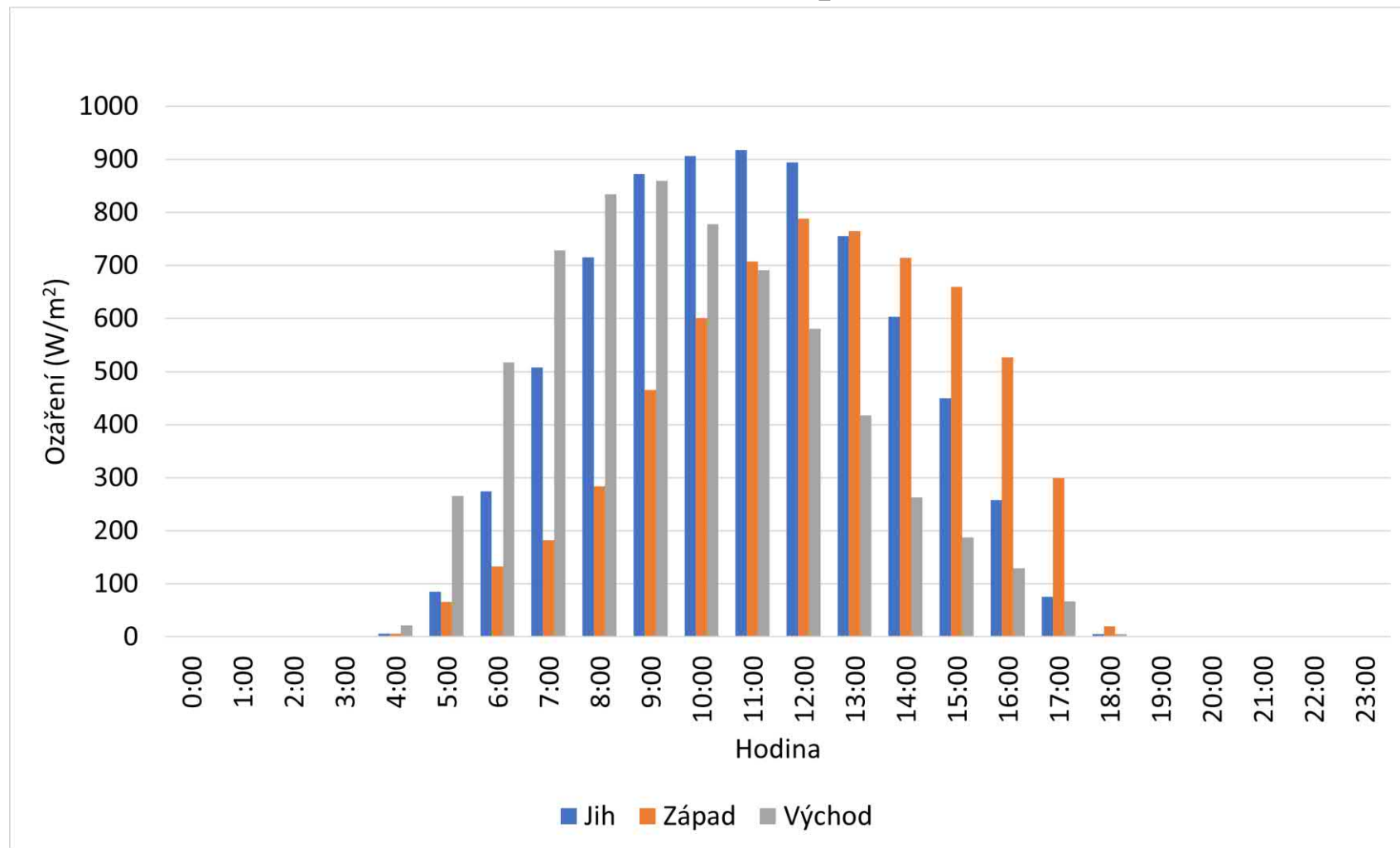
B.6 Průměrné ozáření FVE v měsíci červnu dle orientace



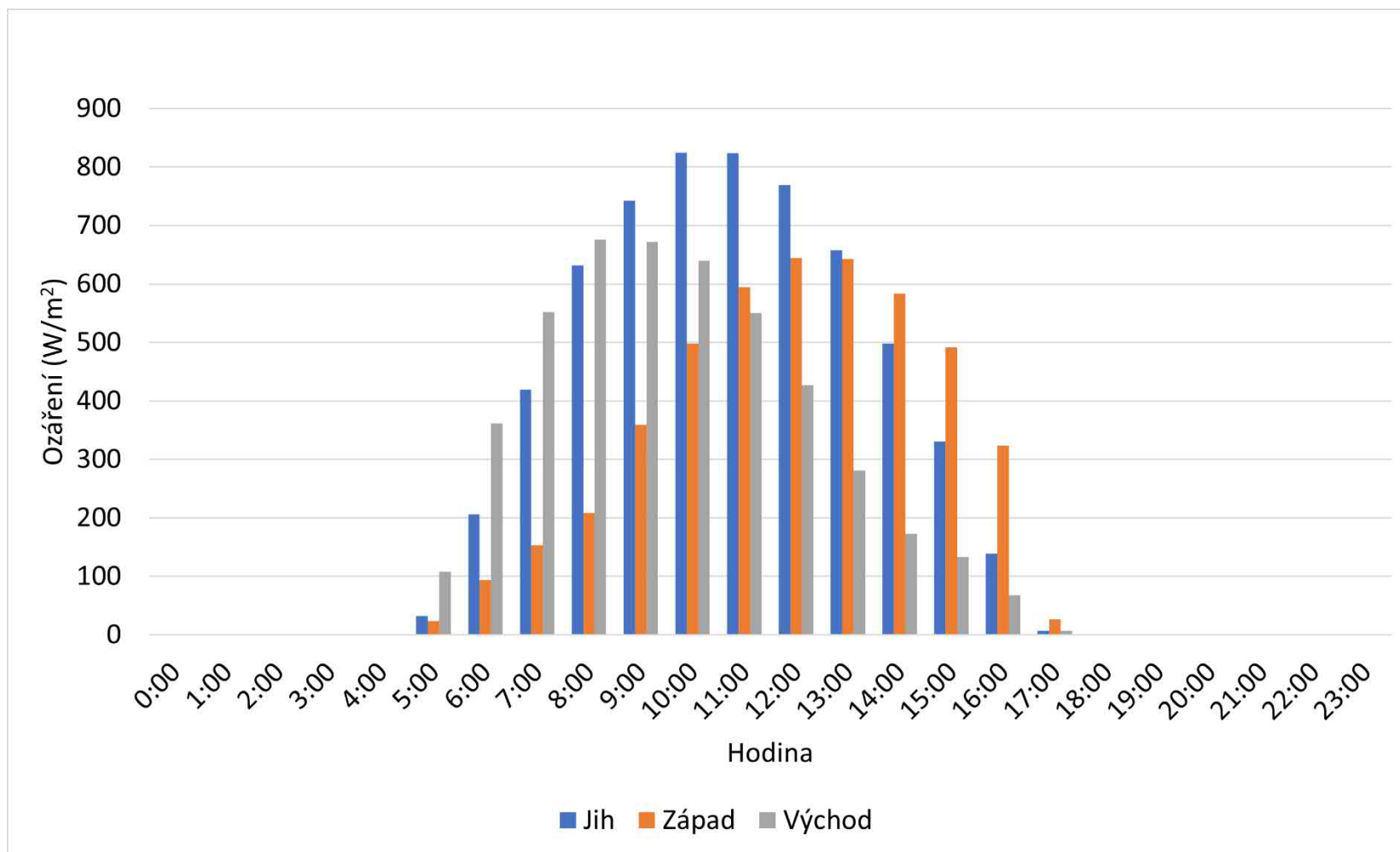
B.7 Průměrné ozáření FVE v měsíci červenci dle orientace



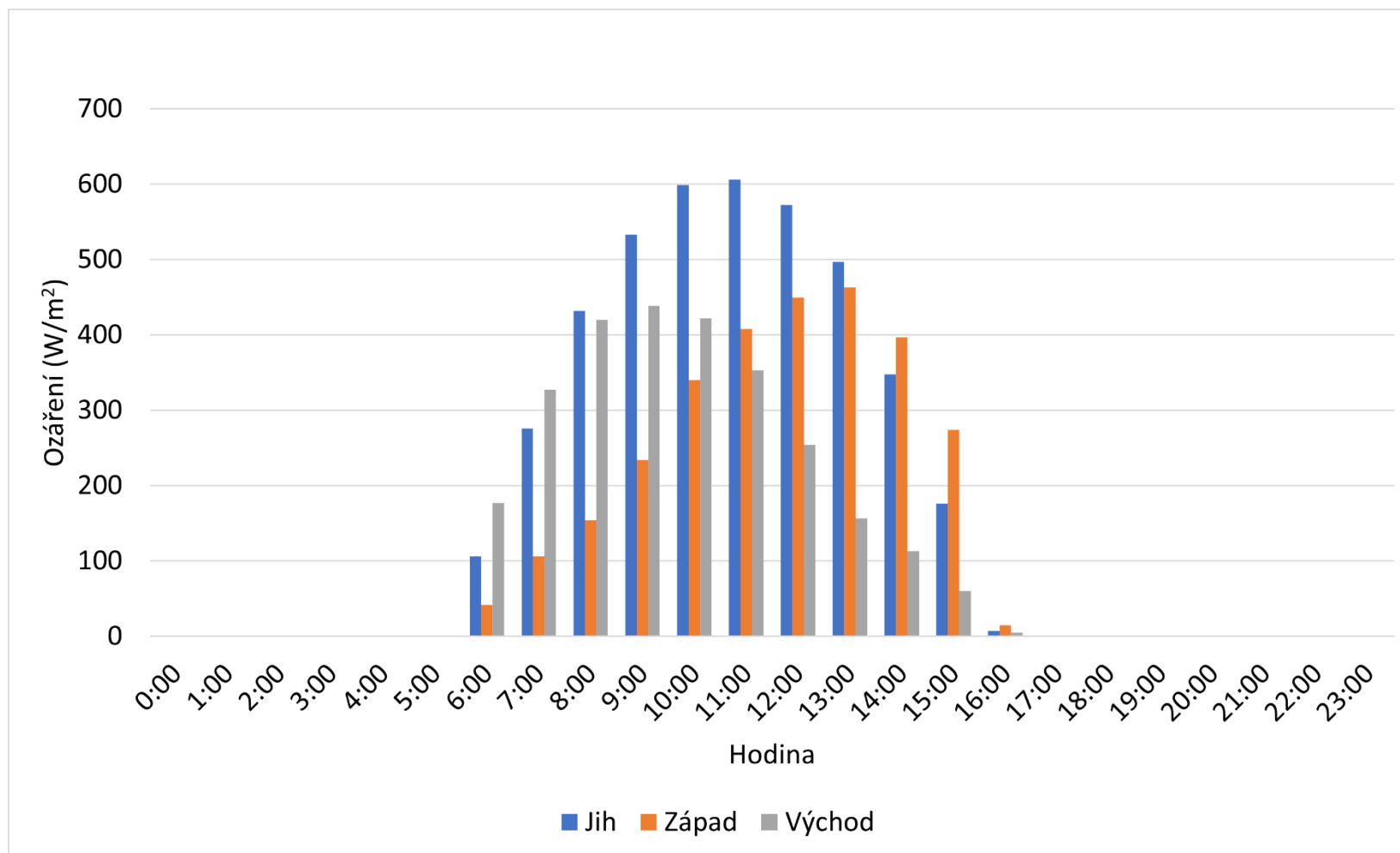
B.8 Průměrné ozáření FVE v měsíci srpnu dle orientace



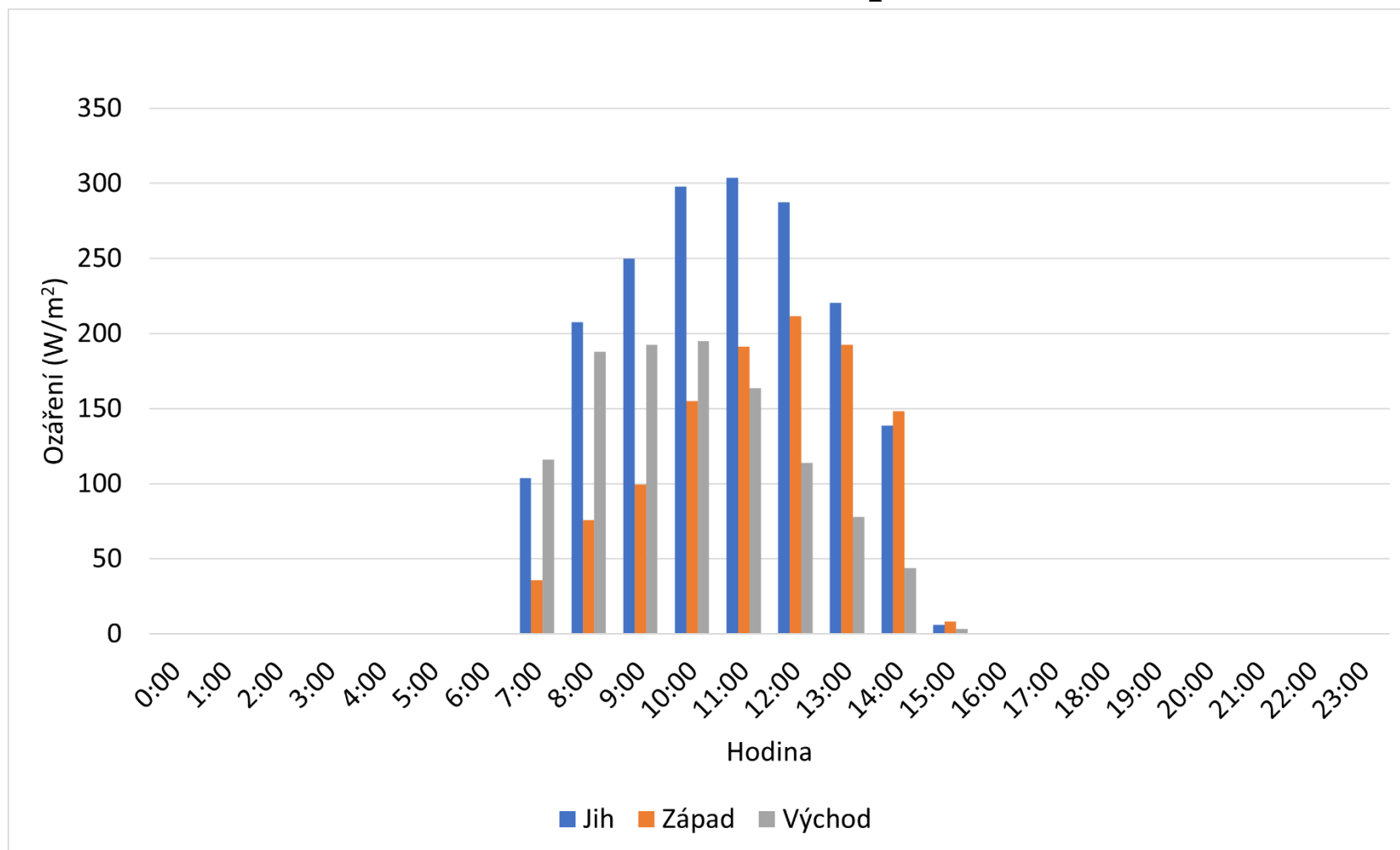
B.9 Průměrné ozáření FVE v měsíci září dle orientace



B.10 Průměrné ozáření FVE v měsíci říjnu dle orientace



B.11 Průměrné ozáření FVE v měsíci listopadu dle orientace



B.12 Průměrné ozáření FVE v měsíci prosinci dle orientace

