



Vojtěch Budín



## ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ  
Katedra elektrotechnologie

# Technicko-ekonomické posouzení fázového a součtového měření u FVE

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Management energetiky a elektrotechniky

Vedoucí práce: Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.

**Vojtěch Budín**  
**Praha 2024**



Vojtěch Budín



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Budín** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **507448**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Aplikovaná elektrotechnika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Technicko-ekonomické posouzení fázového a součtového měření u FVE**

Název bakalářské práce anglicky:

**Technical and economic assessment of phase and total measurement of electric energy at PV plants**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište problematiku fázového a součtového měření v České republice, včetně historického vývoje.
- 2) Popište technické důsledky fázového a součtového měření u odběrných míst s různým instalovaným výkonem FVE
- 3) Porovnejte ekonomické a technické důsledky fázového a součtového měření na reálném, případně simulovaném, příkladu instalací FVE různého výkonu.
- 4) Zpracujte jednoduchý závěr důsledků fázového/součtového měření za aktuálních legislativních podmínek (2xA4 max.)

Seznam doporučené literatury:

- [1] Úvod do liberalizované energetiky Trh s elektřinou [online]. 2016. Praha 2016: Asociace energetických manažerů, 2016 [cit. 2023-04-24]. ISBN 978-80-260-9212-4.  
[2] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: . 2000, 131/2000.  
[3] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 359/2020 Sb. o měření elektřiny. In: . 2020, 146/2020

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Pavel Hrzina, Ph.D. katedra elektrotechnologie FEL**

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

Datum zadání bakalářské práce: **08.02.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_Platnost zadání bakalářské práce: **21.09.2025**Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta



Vojtěch Budín



Vojtěch Budín

## Prohlášení

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

V Praze dne .....

.....

Vojtěch Budín



Vojtěch Budín

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Pavlu Hrzinovi Ph.D., který mi byl po dobu psaní této práce ve všem nápomocný a ochotný kdykoliv poradit a pomoci, když jsem si nevěděl rady.



## Abstrakt

Tato bakalářská práce se věnuje tématu součtového a fázového měření v České republice a ekonomickému srovnání pro různé typy fotovoltaických elektráren.

První část se bude věnovat informacím o fázovém a součtovém měření. Je zde vysvětlen princip těchto měření a popsána daná legislativa, která způsob měření ovlivňuje.

Druhá část bude věnována technickým důsledkům pro domácnost s čistou spotřebou, prosumera a fotovoltaické elektrárny. Následně budou tyto různé případy vysvětleny v jednotlivých případech na jednoduchém příkladu.

Třetí část bude obsahovat simulaci spotřeb a výroby z fotovoltaické elektrárny na malém rodinném domku, a to pro instalované výkon 2 kW, 5 kW, 10 kW a 20 kW. Následně bude pro tyto případy vypočítána bilance pro fázové a součtové měření a tyto případy budou porovnány a výsledky budou porovnány v závěru.

Poslední část bude zahrnovat vytvoření krátkého závěru této bakalářské práce do textu, který bude sloužit jako shrnutí, které jasně a stručně provede čtenářem textem této bakalářské práce.

## Klíčová slova

Fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický článek, instalovaný výkon, součtové měření, fázové měření, vyhláška o měření, technicko-ekonomické porovnání



## Abstract

This bachelor's thesis addresses the topic of cumulative and phase measurement in the Czech Republic and an economic comparison for various types of photovoltaic powerplants.

The first part will focus on information about phase and cumulative measurements. This part will explain the principles of these measurement methods while also focusing on relevant legislation that influences the method of measurement.

The second part will be dedicated to the technical consequences for a household with net consumption, prosumers, and photovoltaic power plants, these various cases will then be explained on simple examples in individual cases.

The third part will contain a simulation of consumption of electricity and production of electricity from photovoltaic power plant in a small family house for installed capacities of 2 kW, 5 kW, 10 kW and 20 kW. Subsequently a balance will be calculated for phase and cumulative measurement for these cases. They will be compared, and the results will be discussed in the conclusion.

The final part will involve creating a brief conclusion of this bachelor's thesis, which will serve as a summary that clearly and concisely guides the reader through the text of this bachelor's thesis.

## Key words

Photovoltaic power plant, photovoltaic cell, installed capacity, cumulative measurement, phase measurement, measurement public notice, techno-economic comparison.





# Obsah

Seznam zkratk	13
Úvod	14
1. Fázové a součtové měření v ČR	15
1.1. Úvod o fázovém měření v ČR	15
1.2. Definice Fázového a součtového měření	15
1.2.1. Fázové měření:	15
1.2.2. Součtové měření	16
1.3. Vyhláška o měření	16
1.3.1. Předmět úpravy	16
1.3.2. Způsoby měření elektřiny	17
1.3.3. Údaje a podmínky měření elektřiny	17
1.4. Historický vývoj elektrifikace a fotovoltaických elektráren	18
1.4.1. Elektrifikace ve 20. století	18
1.4.2. Elektrifikace ve 21. století	18
1.4.3. Historie vývoje FVE	19
1.4.4. FVE v kontextu dnešní doby	20
1.4.5. Instalovaný výkon v ČR	21
1.4.1. Historie spotřeby elektřiny	23
1.5. Výroba elektřiny v ČR	24
1.6. Změny legislativy k roku 2024	24
1.6.1. LEX OZE 2	24
2. Technické důsledky pro různé instalované výkony	25
2.1. Spotřeba elektrické energie v domácnosti	25
2.1.1. Spotřeba domácnosti	26



2.1.2.	Napěťová nesymetrie.....	28
2.2.	Technické důsledky pro různé instalované výkony FVE .....	28
2.2.1.	Nulový instalovaný výkon FVE.....	28
2.2.2.	Malé FVE s instalovaným výkonem do 50 kW.....	29
2.2.3.	FVE elektrárny s velkým instalovaným výkonem .....	29
2.3.	Porovnání jednotlivých případů .....	30
2.3.1.	Příklad fázového měření: .....	30
2.3.2.	Příklad součtového měření: .....	31
2.3.3.	Srovnání jednotlivých případů .....	32
3.	Technicko-ekonomické posouzení součtového a fázového měření pro situace pro FVE s různými výkony .....	33
3.1.	Spotřeba malého domu .....	33
3.1.1.	Spotřeba elektrické energie osvětlení.....	34
3.1.2.	Spotřeba elektrické energie spotřebiče .....	34
3.1.3.	Celková bilance spotřeby elektrické energie.....	35
3.2.	Výroba elektrické energie .....	35
3.2.1.	Výroba elektřiny z FVE s malým instalovaným výkonem .....	35
3.3.	Výsledná bilance spotřeb a výroby pro malý rodinný domek.....	37
3.4.	Finanční model.....	37
3.4.1.	Spotřeba elektrické energie: .....	38
3.4.2.	Součtové měření .....	39
3.4.3.	Fázové měření.....	40
3.4.4.	Porovnání jednotlivých instalovaných výkonů FVE .....	41
4.	Zhodnocení výsledků .....	45
	Literatura .....	49



## Seznam obrázků

Obrázek 1, struktura fotovoltaického článku [18] .....	19
Obrázek 2, Průkaz energetické náročnosti budovy [7] .....	27
Obrázek 3 Současný stav měření elektrické energie [3], Autor obrázku: Vojtěch Budín .....	30
Obrázek 4, grafické znázornění fázového měření pro prosumera, odběr a výrobu elektřiny [3], Autor: Vojtěch Budín .....	31
Obrázek 5, grafické znázornění součtového měření pro prosumera, odběr a výrobu elektřiny [3], Autor: Vojtěch Budín .....	31

## Seznam tabulek

Tabulka 1, Instalovaný výkon v ČR v průběhu let [MW] [4] .....	21
Tabulka 2, výpočty pro fázové měření pro prosumery, odběr a výrobu elektřiny [3], Autor: Vojtěch Budín.....	31
Tabulka 3, Výpočty pro součtové měření pro prosumery, odběr a výrobu [3] .....	32
Tabulka 4, Rozdělení osvětlení do jednotlivých fází .....	34
Tabulka 5, Rozdělení spotřeby elektrické energie za osvětlení v domácnosti .....	34
Tabulka 6, Rozdělení jednotlivých spotřebičů do fází.....	34
Tabulka 7, Rozdělení spotřeb spotřebičů elektrické energie v domácnosti.....	34
Tabulka 8, celková bilance spotřeb elektrické energie .....	35
Tabulka 9, Ceny za nákup a prodej elektrické energie [24] .....	37
Tabulka 10, Finanční model spotřeby elektrické energie v jednotlivých fázích .....	38
Tabulka 11, Výsledné ceny za elektrickou energii pro jednotlivé instalované výkony s použitím součtového měření .....	39
Tabulka 12, Výsledné ceny za elektrickou energii pro jednotlivé instalované výkony s použitím fázového měření .....	40
Tabulka 13, Porovnání součtového a fázového měření pro instalovaný výkon FVE 20 kW ....	41
Tabulka 14, Porovnání součtového a fázového měření pro instalovaný výkon FVE 10 kW ....	42
Tabulka 15, Porovnání součtového a fázového měření pro instalovaný výkon FVE 5 kW .....	43
Tabulka 16, Porovnání součtového a fázového měření pro instalovaný výkon FVE 2 kW .....	44



Tabulka 17, Porovnání všech instalovaných výkonů FVE pro finanční hodnocení fázového a součtového měření .....	47
Tabulka 18, Porovnání součtového a fázového měření pro jednotlivé instalované výkony ...	52

## Seznam grafů

Graf 1, Přírůstky instalovaných výkonů v ve světě [16] .....	21
Graf 2, Instalovaný výkon v ČR [4] .....	22
Graf 3, Počet provozoven FVE a instalovaný výkonu FVE v ČR [5] .....	23
Graf 4, Spotřeba elektřiny brutto v letech 1919-2022 [10], vlastní zpracování .....	23
Graf 5, Grafické znázornění rozdělení výroby a spotřeby elektrické energie a vyprodukované emise pro rok 2022 [11].....	24
Graf 6, graf bilance spotřeb pro domácnost. ....	35
Graf 7, graf výroby elektrické energie pro FVE s instalovaným výkon 2 kW .....	36
Graf 8, čtvrt hodinová výroba FVE v jedné fázi pro různé instalované výkony během jednoho dne .....	36
Graf 9, Graf bilance spotřeb a výroby .....	37
Graf 10, Graf finanční bilance pro spotřebu domácnosti.....	39
Graf 11, Graf finanční bilance pro součtové měření .....	40
Graf 12, Graf finanční bilance pro Fázové měření .....	41
Graf 13, Graf bilance porovnání součtového a fázového měření pro FVE s instalovaným výkonem 20 kW .....	42
Graf 14, Graf bilance porovnání součtového a fázového měření pro FVE s instalovaným výkonem 10 kW .....	43
Graf 15, Graf bilance porovnání součtového a fázového měření pro FVE s instalovaným výkonem 5 kW .....	44
Graf 16, Graf bilance porovnání součtového a fázového měření pro FVE s instalovaným výkonem 2 kW .....	45

## Seznam rovnic



## Seznam zkratek

FVE	Fotovoltaická elektrárna
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
CED	Kumulované energetické nároky
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
OZE	Obnovitelné zdroje energie



## Úvod

Tato práce poskytuje ucelený pohled na technicko-ekonomické aspekty fázového a součtového měření v kontextu malých fotovoltaických elektráren (FVE). Ve smyslu rostoucího významu obnovitelných zdrojů elektrické energie a decentralizace energetického systému se tato práce zaměřuje na zejména na domácí fotovoltaické instalace, ty představují stále významnější složku v energetickém mixu České republiky.

Fázové měření je způsob měření, které umožňuje podrobné sledování spotřebované a dodané energie, a to v jednotlivých fázích systému. Tento postup umožňuje detailnější přehled o tocích elektrické energie než součtové měření, které zaznamenává pouze celkovou hodnotu bez rozlišení jednotlivých fází. Umožňují detailnější analýzu spotřeby a výroby a mohou přispět k efektivnějšímu řízení a integraci obnovitelných zdrojů.

V České republice se fázové měření v posledních letech stalo předmětem široké společenské debaty, hlavním tématem diskuse je kolem otázek spravedlnosti, efektivity a ekonomického dopadu na vlastníky malých fotovoltaických systémů. Kritizuje se hlavně to, že u malé instalace, které dodávají a zároveň odebírají elektrickou energii, nemusí být schopny plně využít vyrobenou energii ve všech fázích, což se projevuje v ekonomickém aspektu problému.

Cílem této práce je poskytnout objektivní pohled na diskutované otázky, provést analýzu dostupných dat, čímž přispět k informované a produktivní debatě ohledně budoucnosti fázového měření vzhledem k narůstajícímu významu fotovoltaických technologií v energetickém sektoru České republiky. S ohledem na dynamický vývoj v oblasti energetiky je také nezbytné sledovat a analyzovat legislativní rámec, který formuje podmínky pro provozování a rozvoj fotovoltaických systémů.



# 1. Fázové a součtové měření v ČR

## 1.1. Úvod o fázovém měření v ČR

Po roce 2011, kdy Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky vydalo vyhlášku, na kterou navazuje dnešní vyhláška č. 359/2020 Sb. o měření elektřiny, a došlo k významné změně v legislativě týkající se měření spotřebované a vyrobené elektřiny. Tato vyhláška stanovila, že v Česku se bude část elektřiny účtovat po fázích, což znamenalo zavedení fázového měření místo tradičního součtového měření. Stejně je to na Slovensku, na rozdíl od zbytku Evropy, kde převládá součtové měření. [2]

Pro malé vlastníky fotovoltaických systémů může fázové měření přinášet komplikace, když elektroměr zaznamenává dodávku a výrobu energie současně, i když celková produkce energie by měla být dostatečná pro chod domácích spotřebičů. To může vést k situacím, kdy uživatelé platí za energii, kterou ve skutečnosti spotřebovávají z vlastního zdroje. [2][3]

## 1.2. Definice Fázového a součtového měření

### 1.2.1. Fázové měření:

Fázové měření u FVE poskytuje pokročilý způsob sledování a řízení toku elektrické energie v systémech, rozlišující jednotlivé fáze v trojfázovém připojení. Tento typ měření nabízí detailnější pohled na výrobu a spotřebu energie, což má klíčový význam pro efektivní energetické hospodaření, zejména u malých prosumerů s instalovanou FVE. [3]

Podle [2] § 11 odstavce 4 je v odběrném místě, ve výrobě elektřiny a v distribuční soustavě na napěťové hladině do 1 kV se u nově instalovaných nebo měněných měřících zařízení v třífázové soustavě směr toku v jednotlivých fázích.

Fázové měření je pro prosumery problematické. Prosumer, tedy malý výrobce elektrické energie, který současně spotřebovává elektrickou energii, může čelit specifickým problémům. Pokud je spotřeba v domácnosti nerozdělena rovnoměrně do všech tří fází a současně se v jedné z fází vyrábí energie, může docházet k situaci, kdy prosumer platí za energii odebranou z jedné fáze, zatímco ve stejný okamžik prodává energii vyrobenou ve fázi jiné. To může vést k neefektivnímu a ekonomicky nevýhodnému vyúčtování, kde celková vyrobená energie by teoreticky mohla pokrýt celkovou spotřebu, ale kvůli fázovému rozdělení tomu tak není. [2][3]



### 1.2.2. Součtové měření

Je tradiční způsob měření spotřebované a vyrobené elektřiny u fotovoltaických elektráren, který se odlišuje od fázového měření tím, že nezaznamenává tok energie v jednotlivých fázích, ale místo toho poskytuje celkovou bilanci vyrobené a spotřebované energie. [3]

Součtové měření sbírá data o spotřebě a výrobě energie bez ohledu na to, v které fázi elektřina teče. U FVE to znamená, že měřicí zařízení zaznamenává celkové množství vyrobené elektřiny a celkové množství spotřebované elektřiny, ale nerozlišuje mezi jednotlivými fázemi. [3]

Hlavní výhodou součtového měření je jeho jednoduchost a nižší náklady na měřicí zařízení ve srovnání s fázovým měřením. Součtové měření poskytuje rychlý a srozumitelný přehled o celkové výrobě a spotřebě, což usnadňuje účtování a monitoring. Zároveň díky celkovému součtu toků energie se neprojevuje ekonomický problém fázového měření. [3]

## 1.3. Vyhláška o měření

### 1.3.1. Předmět úpravy

Vyhláška [2] zapracovává příslušný předpis Evropské unie, zároveň navazuje na přímo použitelný předpis Evropské unie a upravuje

- a) Druhy měřicích zařízení.
  - b) Umístění měřicích zařízení a způsoby a podmínky jejich instalace.
  - c) Způsoby vyhodnocování a určení množství odebrané elektřiny v případě závady měřicího zařízení.
  - d) Způsob stanovení náhrady a způsob určení výše náhrady za neoprávněně odebranou, neoprávněně distribuovanou nebo neoprávněně dodanou elektřinu, nelze-li zjistit skutečné množství neoprávněně odebrané, neoprávněně distribuované nebo neoprávněně dodané elektřiny.
  - e) Termíny a rozsah předávání údajů operátorovi trhu potřebných pro plnění jeho povinností.
- [2]





### 1.3.2. Způsoby měření elektřiny

K měření elektřiny a vyhodnocení údajů (dále jen „měření“) se používá, v pořadí od nejvyššího typu k nejnižšímu typu, jednotarifové nebo vícetarifové měření typu A nebo typu B nebo typu C. [2]

Měření se člení na **přímé** měření, kdy elektroměrem prochází veškerá měřená elektřina a nejsou použity měřicí transformátory, nebo **nepřímé** měření, kdy je elektroměr použit v zapojení s měřicími transformátory proudu, kterými prochází veškerá měřená elektřina, a případně i s měřicími transformátory napětí; podle strany výkonového transformátoru, na kterou jsou měřicí transformátory připojeny, je měření rozděleno na primární nebo sekundární měření. [2]

### 1.3.3. Údaje a podmínky měření elektřiny

Údaje z měření elektřiny účastníci trhu s elektřinou předávají v kWh, kW, kVA<sub>rh</sub>, kVA<sub>r</sub> nebo v MWh, MW, MVA<sub>rh</sub>, MVA<sub>r</sub>, přičemž jsou členěny do různých tarifních skupin. Pro technicko-provozní účely provozovatele přenosové soustavy nebo distribuční soustavy se zaznamenává odebíraná a dodávaná energie, napětí i proud. Dále se může měřit odebíraná i dodávaná jalová energie. Ve smyslu měření elektřiny je považován za kladný směr toku elektřiny do odběrného místa, do výroby elektřiny, do distribuční nebo do přenosové soustavy. Za záporný je považován směr toku elektřiny z odběrného místa, z výroby elektřiny, z distribuční nebo z přenosové soustavy. [2]

V odběrném místě, ve výrobě elektřiny a v distribuční soustavě připojených k distribuční soustavě na napěťové hladině vyšší než 1 kV nebo přenosové soustavě se u nově instalovaných nebo měněných měřicích zařízení v třífázové soustavě vyhodnocuje elektřina v součtu se zohledněním směru toků elektřiny v jednotlivých fázích. [2]

V odběrném místě, ve výrobě elektřiny a v distribuční soustavě připojených k distribuční soustavě na napěťové hladině do 1 kV se u nově instalovaných nebo měněných měřicích zařízení v třífázové soustavě vyhodnocuje směr toku elektřiny v jednotlivých fázích. [2]

Ve výrobě elektřiny připojené k distribuční soustavě na napěťové hladině do 1 kV se u nově instalovaných nebo měněných měřicích zařízení v třífázové soustavě vyhodnocuje směr toku elektřiny v jednotlivých fázích. [2]



V předchozích třech odstavcích je podle [2] § 11 nařízeno fázové měření přímo v odběrném místě, v distribuční soustavě i ve výrobě elektřiny připojené k distribuční soustavě na jakékoliv napěťové hladině. Fázové měření je tak povinné jak pro malé domácí instalace FVE (pro prosumery), tak pro domácnosti, které pouze odebírají elektrickou energii a také pro výrobce elektrické energie. Podrobněji se na rozdíly mezi těmito případy podíváme v kapitole 2. [2] [3]

## 1.4. Historický vývoj elektrifikace a fotovoltaických elektráren

Historicky se v českých zemích mluvilo o elektrizaci již ke konci 19. století a první zaznamenaná elektrifikace byl na Žižkově v roce 1889. [9]

### 1.4.1. Elektrifikace ve 20. století

Paradoxně se elektrifikace začala rozvíjet hlavně kvůli zemědělství, kde byl nedostatek pracovních sil, zemědělci byli nuceni začít využívat náhradu lidské práce stroji. Po roce 1919 byl přijat zákon o elektrifikaci. Začaly vznikat malé elektrárny, které měly lokální distribuční síť a až po první světové válce došlo k postupnému sjednocení sítí a k jejich propojení. V meziválečné době se začaly budovat nové a větší elektrárny a během druhé světové války kdy byla poptávka po elektřině vysoká se také pokračovalo s výstavbou větších elektráren. V roce 1955 byla elektrizována poslední obec v ČR. V šedesátých letech se začalo s výstavbou velkých uhelných elektráren, které mají bloky 110 MW a začala i výstavba bloků 200 MW. Dalšími milníky jsou výstavby jaderných elektráren na českých územích, nejdříve to byly v roce 1978 Dukovany a následně v roce 1987 Temelín a výstavba vodní elektrárny Dlouhé stráně, která zahájila provoz v roce 1996. Na závěr 20. století v roce 1997 proběhlo trvalé připojení k přenosové soustavě k západoevropské soustavě UCTE, česká energetika jako první odvětví vstoupila plně do Evropy. [9]

### 1.4.2. Elektrifikace ve 21. století

Po přelomu tisíciletí začala dodávat do sítě elektřinu jaderná elektrárna Temelín a povodně z roku 2002 poměrně výrazně poničily energetickou infrastrukturu v povodí Vltavy. Ta musela projít generálními opravami. Konec první dekády je také charakterizován poklesem spotřeby elektřiny v ČR, který je logicky svázán s dopady celosvětové ekonomické krize na domácí hospodářství. Po roce 2010 Evropská unie směřuje prostřednictvím přijatých závazných směrnic k podpoře obnovitelných zdrojů, větší energetické účinnosti a k vyšším úsporám.



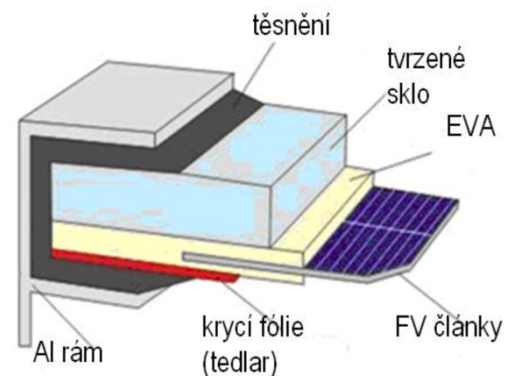
Dalším trendem je decentralizace výrobních zdrojů, stírání rozdílů mezi spotřebiteli a výrobcí, rozvoj chytrých sítí a bateriových systémů. [9]

#### 1.4.3. Historie vývoje FVE

V roce 1839 Alexandr Edmond Becquerell poprvé pozoroval, že vzniká elektrické napětí mezi dvěma osvětlenými elektrodami, v tento moment se ještě nevědělo, co Becquerell objevil. FVE využívají přímé přeměny světelné energie na energii elektrickou. Tomuto jevu se říká fotovoltaický. Teorii fotoelektrického jevu navrhl v roce 1905 Albert Einstein. Tato teorie obsahovala koncepty, které byly již dříve navrženy Maxem Planckem. Popisuje vztah mezi osvětlenými vlnami, stejně jako vztah mezi energií fotonu a jeho frekvencí. Za tuto práci obdržel Albert Einstein v roce 1921 Nobelovu cenu. [17][19][18]

Zvýšení účinnosti bylo dosaženo, když byl původně používaný selen nahrazen křemíkem. V roce 1939 Russell Ohl objevil polovodičové vlastnosti křemíku a fotoelektrický jev ve spojení s polovodiči. V roce 1940 poté vyvinul první křemíkový solární článek. V těchto prvních experimentech všichni tito vědci a vynálezci dospěli k unikátnímu závěru, že vyrobený proud je úměrný dopadajícímu záření a tato úměrnost závisí na vlnové délce záření. [17][19]

Dopadá-li světlo na povrch fotočlánku, předávají fotony svou energii atomům v krystalové mřížce křemíku a uvolňují z ní elektrony. Kdyby mezi oběma vrstvami nebyla bariéra přechodu PN, přecházely by v krystalu elektrony volně z místa přebytku do místa nedostatku a fotočlánek by se nemohl stát zdrojem napětí. Přechod PN však způsobí, že elektrony uvolněné v horní vrstvě polovodiče N nemohou přecházet do vrstvy P na hromadí se proto ve vrstvě N. Elektrony uvolněné



Obrázek 1, struktura fotovoltaického článku [18]

světlem ve vrstvě P naopak mohou přes přechod PN přecházet do vrstvy N a počet elektronů se v ní dále zvyšuje. Nahromaděním volných elektronů vznikne mezi horní a spodní vrstvou elektrické napětí o velikosti kolem 0,6 V. [18] [19]

Dopadající fotony mají s kratší vlnovou délkou záření větší energii. Aby se z krystalické mřížky křemíku uvolňovali elektrony, musí mít foton záření energii alespoň 1,2 eV. Tato energie odpovídá „mezí“ vlnové délce 1105 nm. To odpovídá infračervenému záření. [18][19]



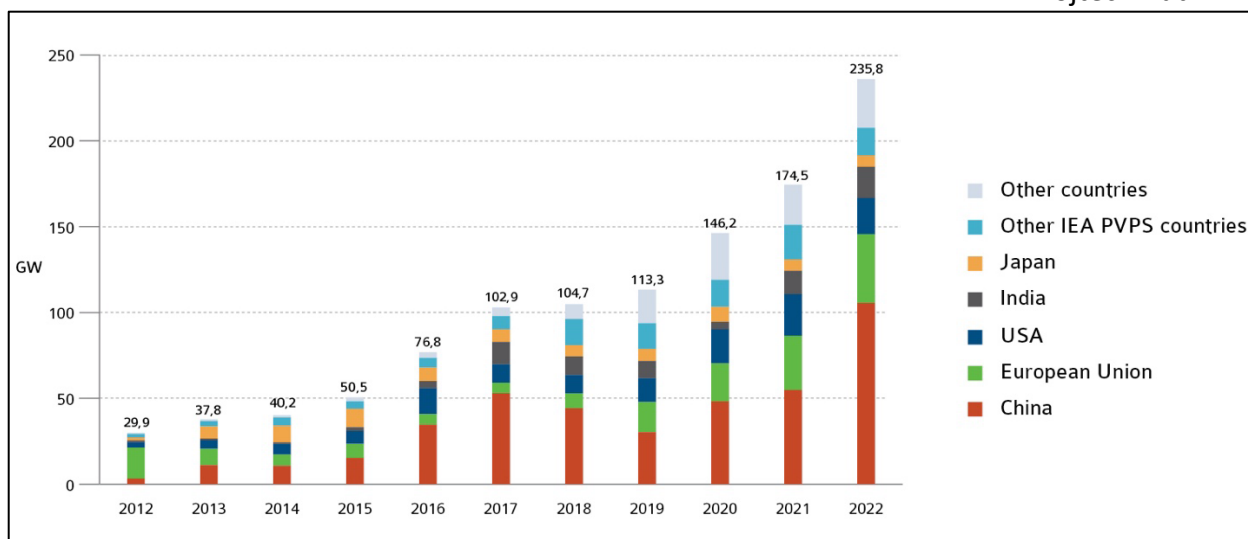
#### 1.4.4. FVE v kontextu dnešní doby

Historicky byla fosilní paliva nejdůležitějším zdrojem energie, stále jsou však nezbytnou složkou ve výrobě elektřiny, dopravě a také vytápění domů. Tyto zdroje však přispívají k k enviromentálnímu znečištění. Spalováním fosilních paliv se do ovzduší uvolňuje CO<sub>2</sub> a další plyny, které přispívají ke znečišťování ovzduší, to může mít za důsledek různé negativní důsledky pro naši planetu. [12]

V dnešní době je k dispozici mnoho obnovitelných zdrojů energie, mezi kterými se však solární energie dá považovat za úplný základ, který je aktuálně nejdostupnější variantou pro domácnosti. Kromě solární energie se považují jako OZE větrná energie, geotermální energie, vodní energie a využívání biomasy. Od 1.5. 2004 je Česká republika členem Evropské Unie. EU stanovila cíle energetické politiky a udržitelného rozvoje. Cílem bylo podporovat rozvoj, který nebude mít negativní dopad na životní prostředí. Definovala závazné zvýšení podílu OZE na energetickém mixu ČR. Například původně měla ČR do roku 2020 implementovat 20 % zdrojů elektrické energie z obnovitelných zdrojů, to však bylo následně sníženo na 13 % celkového instalovaného výkonu ČR. [12]

Fotovoltaika je v současnosti jedním z nejrychleji rostoucích segmentů energetiky na světě. Během posledních 20 let vedly technologické pokroky k velkému snížení nákladů na fotovoltaické moduly a další komponenty, dále se musí vzít v potaz zvýšení účinnosti a zlepšení spolehlivosti systémů. To přímo souvisí s rychlým růstem instalované kapacity FVE. Celková kapacita v roce 2019 na celém světě dosáhla 635 GWp, z této kapacity bylo instalováno během předešlého roku 130 GWp z této kapacity. [13] V roce 2022 se tato kapacita vyšplhala na úroveň 1,2 TWp a během roku 2023 vzrostla o 407,3 GWp na 1,6 TWp. [15]

V následujícím grafu jsou představeny trendy instalování FVE ve světě.



Graf 1, Přírůstky instalovaných výkonů v ve světě [16]

V dnešní době je potřeba aby fotovoltaické komponenty splňovaly požadavky nízké ceny, vysoké účinnosti a perspektivy dalšího snižování nákladů. V současné době tyto předpoklady nejlépe splňují moduly z krystalického křemíku, ten dosahuje účinností mezi 16-22 %. [13]

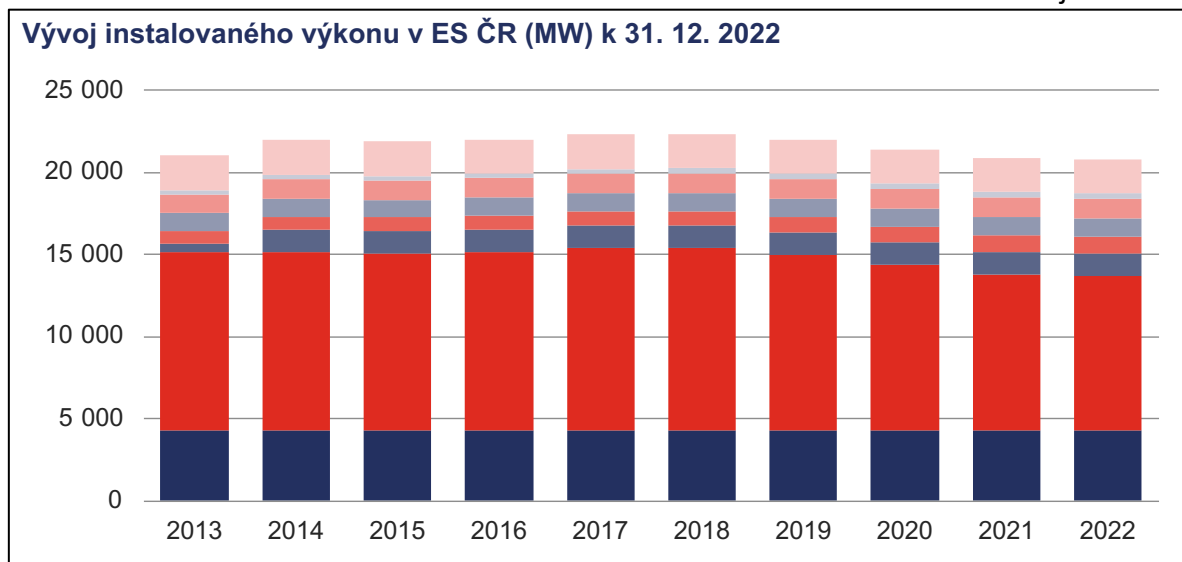
#### 1.4.5. Instalovaný výkon v ČR

Instalovaný výkon je maximální výkon, který může být dodáván nebo produkován zařízením, když pracuje na plný výkon. Je klíčovým ukazatelem schopnosti zařízení dodávat nebo produkovat maximální množství energie při plném výkonu. Obvykle je vyjádřen v jednotkách kilowattů (kW) nebo megawattů (MW) a slouží k určení kapacity zařízení. V následující části se zaměříme na instalovaný výkon FVE v České republice. [4]

V posledních letech došlo v České republice k určitým změnám v instalovaném výkonu FVE. Instalovaný výkon se v posledních letech pohyboval v rozmezí 20 806,2 MW až 22 302,6 MW. FVE k dnešnímu dni tvoří zhruba 10 % instalovaného výkonu v ČR, tato hodnota se drží zhruba od roku 2013, což naznačuje stabilní podíl FVE na energetickém mixu země. [4]

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Celkem ČR</b>	<b>21 079,2</b>	<b>21 940,9</b>	<b>21 877,6</b>	<b>22 007,0</b>	<b>22 293,6</b>	<b>22 302,6</b>	<b>22 014,3</b>	<b>21 378,5</b>	<b>20 877,6</b>	<b>20 806,2</b>
■ Jaderné (JE)	4 290,0	4 290,0	4 290,0	4 290,0	4 290,0	4 290,0	4 290,0	4 290,0	4 290,0	4 290,0
■ Parní (PE)	10 819,5	10 836,7	10 741,9	10 850,0	11 075,5	11 075,4	10 729,9	10 058,8	9 527,7	9 415,9
■ Paroplynové (PPE)	518,0	1 363,0	1 363,3	1 363,5	1 363,5	1 363,5	1 363,5	1 363,5	1 363,5	1 363,5
■ Plynové a spalovací (PSE)	820,1	833,7	855,6	874,0	896,0	910,9	937,7	961,7	983,2	1 012,2
■ Vodní (VE)	1 082,7	1 091,0	1 095,0	1 100,2	1 112,3	1 112,5	1 113,2	1 113,9	1 114,6	1 113,6
■ Přečerpávací (PVE)	1 146,5	1 171,5	1 171,5	1 171,5	1 171,5	1 171,5	1 171,5	1 171,5	1 171,5	1 171,5
■ Větrné (VTE)	270,0	278,2	282,2	282,2	308,2	316,7	339,4	339,4	339,4	339,1
■ Fotovoltaické (FVE)	2 132,4	2 076,8	2 078,3	2 075,7	2 076,6	2 062,0	2 069,1	2 079,5	2 087,7	2 100,4

Tabulka 1, Instalovaný výkon v ČR v průběhu let [MW] [4]



Graf 2, Instalovaný výkon v ČR [4]

Vývoj instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren v České republice od roku 2003 do současnosti ilustruje vliv různých ekonomických, legislativních a technologických faktorů na adopci obnovitelných zdrojů energie. [5]

V období mezi lety 2003 a 2009 byl instalovaný výkon fotovoltaických elektráren téměř nulový. Toto období se vyznačovalo pomalým přijetím fotovoltaiky, částečně kvůli vysokým nákladům na technologii a nedostatečným podporám ze strany státu. [5]

V letech 2009 až 2011 došlo k prudkému nárůstu instalovaného výkonu, což bylo podníceno zavedením podporovacích mechanismů pro obnovitelné zdroje energie. V této době byly investice do fotovoltaických elektráren velmi atraktivní díky výhodným podmínkám, což vedlo k rychlému rozvoji trhu. Instalovaný výkon dosáhl významného mezníku 1952,7 MWe. [5]

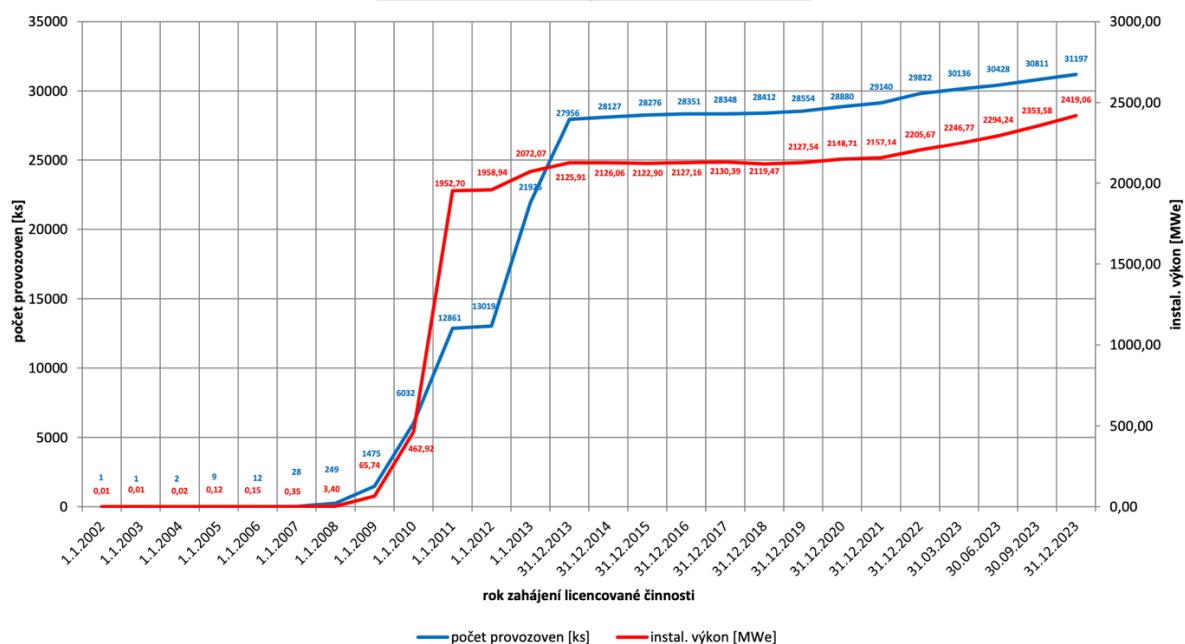
Po roce 2011 však nastal pokles nových instalací. Tento pokles byl reakcí na změny v legislativě, které omezily podporu fotovoltaiky. Kromě legislativních změn ovlivnily trh také finanční a administrativní nestability, což vedlo k opatrnosti investorů. [5]

V následujících letech došlo k určité stabilizaci a obnově trhu s fotovoltaickými elektrárnami. K tomuto obratu přispěly různé faktory, včetně poklesu cen solárních panelů, zlepšení technologií, včetně akumulčních systémů, a nové vládní stimuly. Tyto faktory pomohly obnovit zájem o fotovoltaiku a podpořit její další rozvoj. [5]

Tento příklad ukazuje, jak mohou různé vnější vlivy (ekonomické, legislativní a technologické) ovlivnit růst a rozvoj sektoru obnovitelných zdrojů energie. [5]

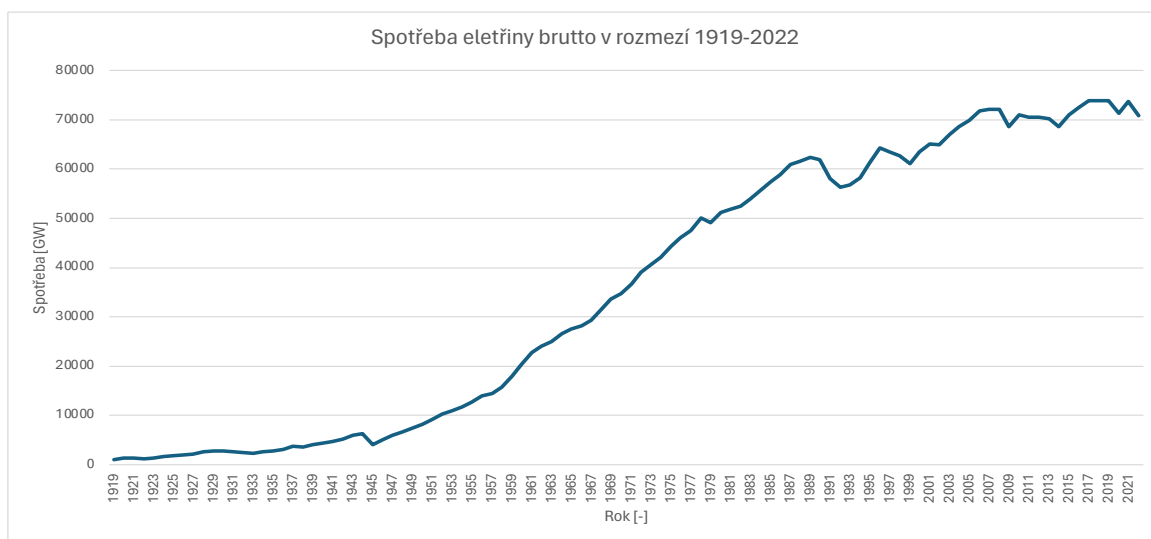


### Sluneční elektrárny, stav k 31.12.2023



Graf 3, Počet provozoven FVE a instalovaný výkon FVE v ČR [5]

#### 1.4.1. Historie spotřeby elektřiny

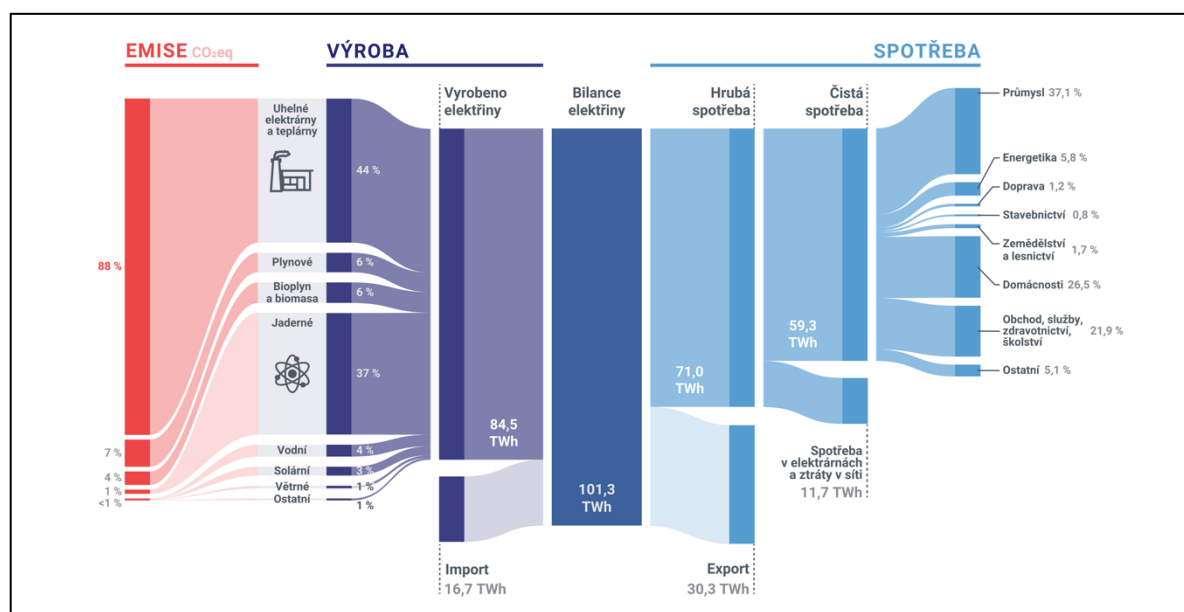


Graf 4, Spotřeba elektřiny brutto v letech 1919-2022 [10], vlastní zpracování

Na v grafu 3 můžeme vidět, jak se zvyšovala spotřeba elektrické energie mezi lety 1919-2022, udává spotřebu brutto, spotřeba brutto je součet spotřeby odběratelů elektrické energie (velkoodběratelů i maloodběratelů), spotřeby provozovatelů přenosové a distribuční soustavy, lokální spotřeby a technologické vlastní spotřeby elektřiny na výrobu tepla. [10]



## 1.5. Výroba elektřiny v ČR



Graf 5, Grafické znázornění rozdělení výroby a spotřeby elektrické energie a vyprodukované emise pro rok 2022 [11]

Tento graf zobrazuje výrobu, spotřebu a také příslušné vyprodukované emise z elektráren pro rok 2022. Je zde vidět podíl jednotlivých zdrojů na výrobě elektřiny, ke kterým je přidáno odpovídající množství emisí CO<sub>2</sub>. Na celkové bilanci výroby elektrické energie se výrazně projevuje i import ze zahraničí a export do zahraničí. Z grafu je také vidět nepoměr mezi druhem výroby a vyprodukovanými emisemi, kde uhelné elektrárny tvoří 44% bilance, ale produkují až 88 % emisí CO<sub>2</sub>. Když sečteme produkci uhelných a plynových elektráren tvoří zhruba 50 % výroby, avšak ve smyslu produkce emisí se dostáváme na 95% v daném sektoru. Fosilní část elektroenergetiky tak představuje zdaleka nejvyšší zdroj emisí skleníkových plynů v ČR napříč sektory. [11]

## 1.6. Změny legislativy k roku 2024

### 1.6.1. LEX OZE 2

Dne 20. prosince 2023 vyšla novela zákona č. 469/2023 Sb., neboli LEX OZE II., která mění zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon. Navrhované legislativní změny umožní domácnostem, obcím, firmám a dalším vyrábět pomocí obnovitelných zdrojů energie elektrickou energii a následně ji sdílet. [22]

Nové právo na sdílení elektřiny se opírá o novelizovanou směrnici o vnitřním trhu s elektřinou a bude se týkat domácností, malých a středních podniků. Členy komunitní energetiky budou





Vojtěch Budín

moci být i obecní nebo krajské příspěvkové organizace, které jsou podnikem. [22] Vláda v návrhu dočasně omezila rozsah a regionální působnost společenství na 1 000 odběrných míst a maximálně tři sousedící obce s rozšířenou působností. Omezení má platit do 30. června 2026. [22]

Nejdůležitější částí pro tuto práci je úprava §11 odstavce (4)(5), která říká že v odběrném místě, ve výrobně elektřiny a v distribuční soustavě připojených k distribuční soustavě na napěťové hladině do 1 kV se u nově instalovaných nebo měněných měřicích zařízení v třífázové soustavě vyhodnocuje elektřina v součtu se zohledněním směru toků elektřiny v jednotlivých fázích. Tato část potenciálně řeší.

Avšak novela LEX OZE II v principu **nezavádí** součtové měření na hladině nízkého napětí. To by totiž vyžadovalo výměnu měřicích zařízení a přenastavení datových centrál na straně provozovatelů soustav. To by znamenalo další finanční zátěž pro odběratele, a to v podobě navýšení výsledných cen za distribuci elektrické energie. Podstatou nově navržené úpravy je, že prosumer si bude moci nasdílet elektřinu z předávacího místa registrovaného pro účely dodávky do soustavy a pak do předávacího místa registrovaného pro účely odběru ze soustavy. Mimo jiné v rámci téhož odběrného místa. [23]

Novela umožňuje zákazníkům vyrovnávat elektřinu, kterou spotřebují elektřinou, kterou dodávají do sítě. Účetně bude tento proces zaznamenáván jako součet dodané a spotřebované elektřiny. [23]

## 2. Technické důsledky pro různé instalované výkony

### 2.1. Spotřeba elektrické energie v domácnosti

Abychom porozuměli problému spojenému se spotřebou elektřiny a čistým odběrem v domácnostech, je klíčové nejprve se zaměřit na to, jak typicky probíhá spotřeba elektřiny v běžné domácnosti bez FVE, tedy s čistým odběrem, a poté porovnat tento scénář s domácnostmi, která má instalovanou fotovoltaickou elektrárnu.



Vojtěch Budín

Domácnost pouze s odběrem elektřiny je taková, která nevytváří žádnou elektřinu vlastními prostředky, jako jsou solární panely nebo větrné turbíny, ale veškerou svou potřebnou energii získává z veřejné elektrické sítě. Tento typ domácnosti je plně závislý na externích zdrojích energie a její energetická stopa a náklady jsou přímo ovlivněny místními energetickými tarify.

V takových domácnostech je důležitá energetická efektivnost, protože optimalizací spotřeby mohou snížit své energetické náklady a zároveň omezit svůj vliv na životní prostředí. To může zahrnovat investice do energeticky účinných spotřebičů, zlepšení izolace domu, a používání technologií, jako jsou LED žárovky a inteligentní termostaty, pro snížení celkové spotřeby energie.

#### 2.1.1. Spotřeba domácnosti

Typický odběr elektřiny v domácnosti, která vykazuje čistý odběr, se může výrazně lišit v závislosti na velikosti domácnosti, počtu obyvatel, životním stylu, používaných spotřebičích a ročním období. V dalším textu si uvedeme možné vlivy na spotřebu.

**Spotřebiče a zařízení:** V domácnosti s nulovým instalovaným výkonem FVE se výrazně projevuje vliv běžných domácích spotřebičů. Příkladem jsou ledničky, pračky, sušičky, televize, počítače, televize a podobné další spotřebiče. Energeticky náročné spotřebiče jako jsou elektrické trouby a podobně. Většina těchto spotřebičů je připojena na jednu fázi, což může v síti vytvářet napěťové nesymetrie.

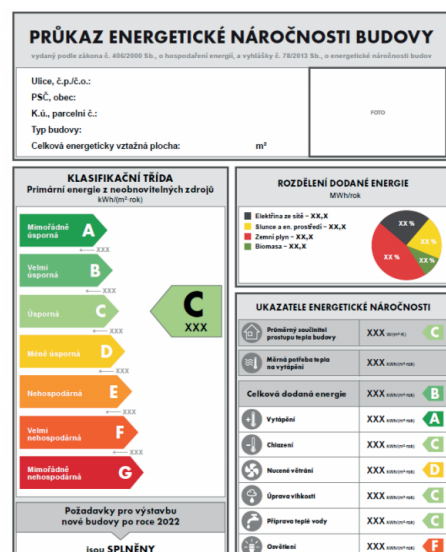
**Vytápění a chlazení:** Tento vstup se často liší v závislosti na klimatických podmínkách. Kde se například v severnějších zeměpisných šířkách uplatňuje více topení a v oblastech kde je tepleji spíše chlazení. V našich podmínkách mírného pásu se historicky spíše projevovalo topení, avšak se změnou klimatu se to v posledních letech poměrně mění.

#### Další faktory ovlivňující spotřebu elektrické energie v domácnosti:

- **Velikost domácnosti** → větší domácnosti obvykle spotřebovávají více elektrické energie, mají více obyvatel, s tím se váže větší počet spotřebičů. Větší obytná plocha, s kterou přichází i větší prostor. Větší prostor se musí více vyhřívat během zimy a chladit během léta. To také vede k vyšší spotřebě elektrické energie, protože vytápění a chlazení jsou pravidelně nejvyššími spotřebiči elektrické energie. Zároveň větší domácnosti mají zpravidla více ploch stěn, střech a oken, což vede k větším tepelným ztrátám, pokud není provedena správná izolace.



- **Stáří a typ spotřebičů** → Starší spotřebiče se často vyznačují nižší energetickou účinností v porovnání s novými spotřebiči, což je důsledkem technologického vývoje a změnami v regulačních normách. Jedním z hlavních faktorů je vývoj technologie, kdy jsou modernější spotřebiče vybaveny novějšími technologiemi, které mohou zvýšit účinnost spotřebičů a snižují spotřebu elektrické energie. Tomu v posledních letech pomohli i regulace a normy, v mnoha zemích byly zavedeny regulace a normy, které požadují, aby výrobci elektrických spotřebičů dodržovali příslušné normy. To vede k závěru, že nové spotřebiče musí být energeticky účinnější. Větší účinnost má pozitivní dopad i na životní prostředí, kde se v kontextu snížení spotřeby energie snižují emise skleníkových plynů a zároveň se nová zařízení vyrábějí z ekologických materiálů, což také přispívá k ochraně životního prostředí.
- **Volba typu osvětlení** → Volba typu osvětlení může mít velký dopad na celkovou spotřebu elektrické energie v domácnosti. Rozdílné zdroje elektrické energie mají odlišnou dobu životnosti a účinnost, což se projevuje v ekonomických nákladech na energii a také na frekvenci výměny osvětlení. Podle [8] použití LED svítidel, zejména těch nejnovější generace, umožňuje dosáhnout snížení dopadu na životní prostředí o 31-50 %, LED svítidlo snižuje celkový kumulované energetické nároky.
- **Energetický management (úsporné energetické chování)** → Úsporné chování je soustava praktik a aktivit, které přímo vedou ke snižování spotřeby elektrické energie a zároveň zvyšují energetickou efektivnost v domácnostech. Tato opatření mohou zahrnovat změny v jednoduchých každodenních činnostech až po dlouhodobé změny ve způsobu, jakým obyvatelé domácnosti přistupují k využívání Elektrické energie. Při výběru domácích spotřebičů je nezbytné se zaměřit na hodnocení energetické náročnosti, to je hodnoceno štítky s označením A-G. Tento štítek informuje o míře energetické náročnosti daného spotřebiče. Označení A značí nejvyšší účinnost, zatímco G nejnižší. Obecně platí, že pro ušetření v domácnosti se pro menší spotřebiče doporučuje nakupovat spotřebiče v energetické třídě C a výše, u větších spotřebičů, jako je lednička a pračka, B a



Obrázek 2, Průkaz energetické náročnosti budovy [7]



výše. Vyšší energetická třída se však projeví v nákupní ceně spotřebiče. [6]

### 2.1.2. Napěťová nesymetrie

V kontextu spotřeby elektrické energie mohou vznikat v třífázové distribuční síti napěťové nesymetrie. Napěťové nesymetrie je stav, kdy se napětí třífázové rozvodné sítě liší v amplitudě nebo jsou odchylky od jejich normálního fázového posunu. Pokud se fázory napětí v jednotlivých fázích v součtu nerovnjají nule, pak se hovoří o nevyvážené soustavě. [21]

Převládající příčina nesymetrie napětí v síti je nesymetrické jednofázové zatížení. V distribučních soustavách nízkého napětí jsou jednofázové spotřebiče téměř výlučně připojovány mezi fází a střední vodič, avšak s rozložením více či méně rovnoměrným do všech tří fází. V distribučních soustavách vysokého a velmi vysokého napětí mohou být jednofázové zatížení připojena buď mezi fázemi nebo mezi fází a střední vodič. [21]

## 2.2. Technické důsledky pro různé instalované výkony FVE

Problém fázového měření je relevantní zejména pro malé výrobce elektrické energie z fotovoltaických elektráren (FVE), kteří nejen produkují elektřinu, ale také ji spotřebovávají. Tito výrobci se obvykle nazývají "prosumeři", což je slovo odvozené z anglických výrazů "produce" (produkce) a "consume" (spotřeba). Konkrétně se jedná o domácnosti nebo malé podniky, které mají instalované FVE a využívají vlastní vyrobenou elektřinu, ale zároveň potřebují doplňkový odběr elektřiny ze sítě. Toto téma a porovnání s různými variantami spotřeb bude probráno v následující kapitole.

### 2.2.1. Nulový instalovaný výkon FVE

V případě, že v domovní instalaci nejsou nainstalovány žádné fotovoltaické panely, což znamená nulový instalovaný výkon, domácnost je pouze odběratelem elektrické energie, nikoliv jejím producentem. Tento jednoduchý scénář, kdy FVE chybí nebo nejsou aktivní, zjednodušuje proces měření a fakturace elektrické energie. Součtové měření a fázové měření na faktuře v tomto případě udává totožné výsledky, což znamená, že odběratel platí pouze za skutečnou spotřebu. Jednoduchost měření a fakturace v domácnostech bez fotovoltaických panelů tedy přináší jasnost ve výpočtu účtů za energii, kde odběratel platí pouze za množství energie, které skutečně spotřebovali z veřejné energetické sítě.



### 2.2.2. Malé FVE s instalovaným výkonem do 50 kW

Malé fotovoltaické instalace jsou specifické tím, že jsou typické pro domácnosti. Tyto domácí instalace se od roku 2010 v České republice velmi rozrostly. Jsou určeny pro výrobu elektrické energie přímo pro jednotlivé domácnosti. Tyto systémy, obvykle umístěné na střechách domů, mají instalovaný výkon obvykle v rozmezí několika kilowattů, typicky mezi 1 až 10 kWp. Velikost systému závisí na energetických potřebách domácnosti a dostupném prostoru pro instalaci. Solární panely na střechách rodinných domů přeměňují sluneční záření na elektrickou energii, která je pak využívána k pokrytí části nebo celé spotřeby energie v domácnosti. Z hlediska technické realizace, kromě samotných solárních panelů, zahrnuje systém také střídače, které přeměňují stejnosměrný proud z panelů na střídavý proud. Pokud systém vyprodukuje více energie, než je spotřeba, může být přebytečná energie vrácena zpět do sítě. [3]

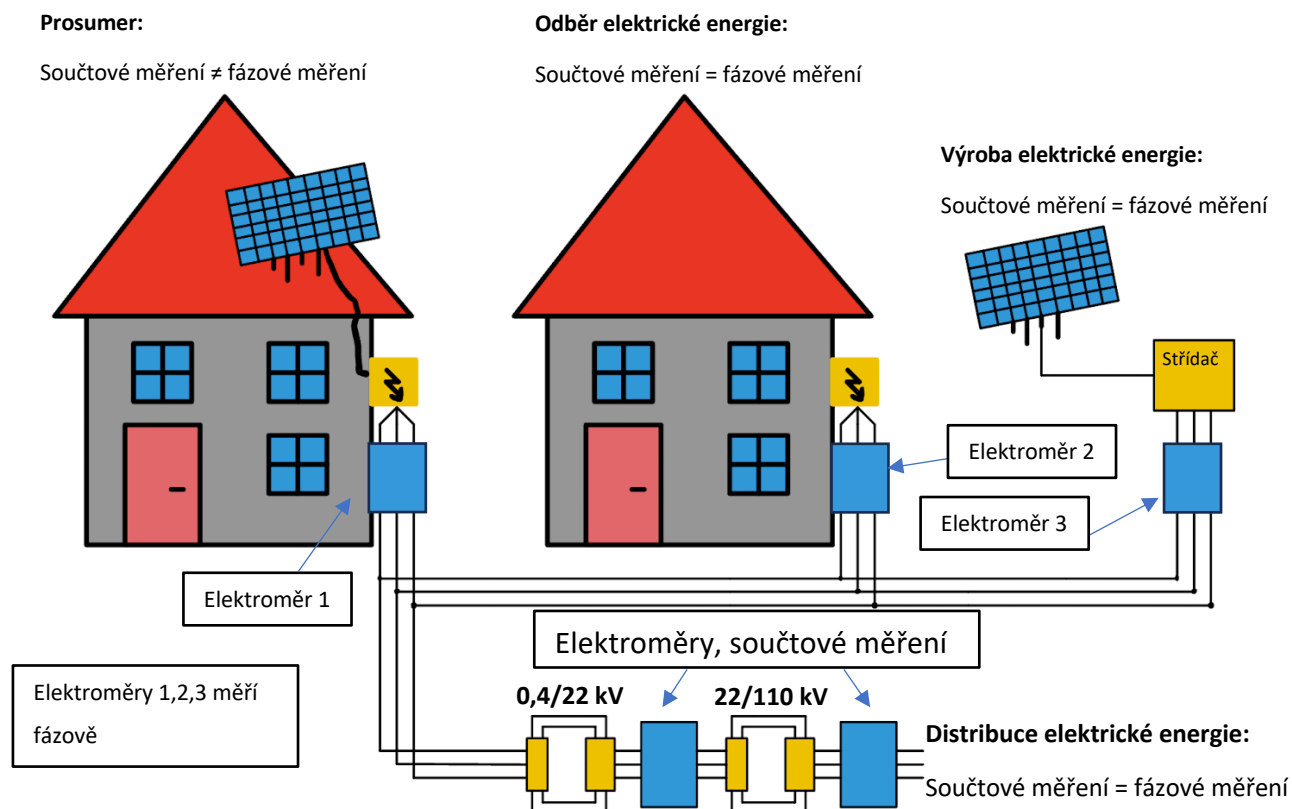
To je však z hlediska měření problematické, jak již bylo zmíněno podle vyhlášky o měření je nařízeno měření ve fázích. To znamená, že pokud se během produkování elektrické energie během dne i spotřebovává, tak může nastat stav, kdy zákazník zároveň odebírá a prodává elektrickou energii. [3]

### 2.2.3. FVE elektrárny s velkým instalovaným výkonem

Fotovoltaické elektrárny s velkým instalovaným výkonem, jsou často označovány jako solární parky nebo solární farmy. Jsou to rozsáhlé instalace solárních panelů, které generují solární energii na komerční úrovni. Tyto systémy se liší od malých domácích instalací svým rozsahem, výkonem a způsobem použití. Velké FVE mají instalovaný výkon v rozmezí několika MW až GW. Tyto elektrárny hrají klíčovou roli v rámci strategií mnoha zemí pro snižování emisí skleníkových plynů a zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie. Přispívají k diverzifikaci energetického mixu a pomáhají snižovat závislost na fosilních palivech.



## 2.3. Porovnání jednotlivých případů



Obrázek 3 Současný stav měření elektrické energie [3], Autor obrázku: Vojtěch Budín

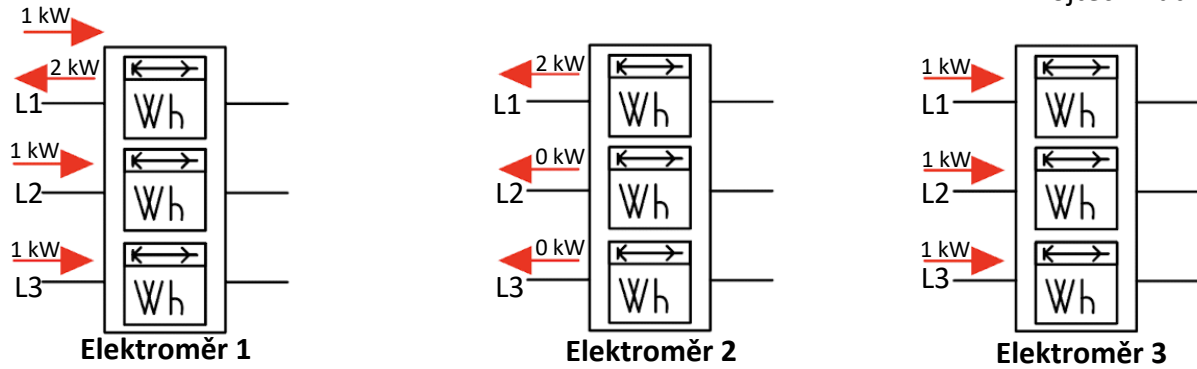
### 2.3.1. Příklad fázového měření:

Uvedeme si příklad fázového měření pro elektroměr 1, elektroměr 2 a elektroměr 3. Pro příklad bereme, že pro elektroměr se na fázi L1 odebírají 2 kW a zároveň FVE vyrábí 3 kW, které se rovnoměrně rozdělí do všech fází. Pro elektroměr 2 platí, že se na fázi L1 odebírají 2 kW. Pro elektroměr 3 platí, že FVE vyrábí 3 kW a zároveň neodebírá elektrickou energii. [3]

Elektroměr 1 → Prosumer

Elektroměr 2 → Odběr elektrické energie

Elektroměr 3 → Výroba elektrické energie



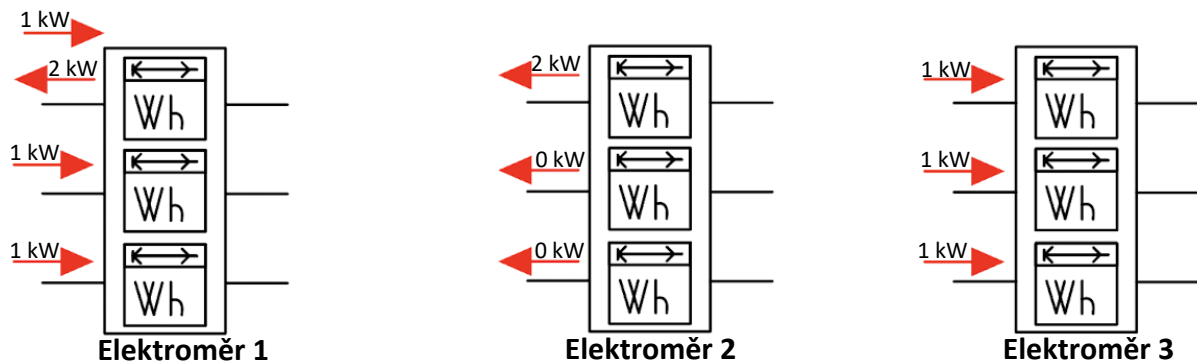
Obrázek 4, grafické znázornění fázového měření pro prosumera, odběr a výrobu elektřiny [3], Autor: Vojtěch Budín

<p><b>Elektroměr 1</b></p> $L1 = 2 - 1 = 1$ $L2 = 0 - 1 = -1$ $L3 = 0 - 1 = -1$	<p><b>Elektroměr 2</b></p> $L1 = 2$ $L2 = 0$ $L3 = 0$	<p><b>Elektroměr 3</b></p> $L1 = -1$ $L2 = -1$ $L3 = -1$
<p><b>Elektroměr 1</b></p> $A+ = A+(L1) + A+(L2) + A+(L3)$ $A+ = 1 + 0 + 0$ $A+ = 1$ $A- = A-(L1) + A-(L2) + A-(L3)$ $A- = 0 + 1 + 1$ $A- = 2$	<p><b>Elektroměr 2</b></p> $A+ = A+(L1) + A+(L2) + A+(L3)$ $A+ = 2 + 0 + 0$ $A+ = 2$ $A- = A-(L1) + A-(L2) + A-(L3)$ $A- = 0 + 0 + 0$ $A- = 0$	<p><b>Elektroměr 3</b></p> $A+ = A+(L1) + A+(L2) + A+(L3)$ $A+ = 0 + 0 + 0$ $A+ = 0$ $A- = A-(L1) + A-(L2) + A-(L3)$ $A- = 1 + 1 + 1$ $A- = 3$

Tabulka 2, výpočty pro fázové měření pro prosumery, odběr a výrobu elektřiny [3], Autor: Vojtěch Budín

### 2.3.2. Příklad součtového měření:

Dále si uvedeme příklad součtového měření pro elektroměr 1, elektroměr 2 a elektroměr 3. Pro příklad bereme, že pro elektroměr se na fázi L1 odebírají 2 kW a zároveň FVE vyrábí 3 kW, které se rovnoměrně rozdělí do všech fází. Pro elektroměr 2 platí, že se na fázi L1 odebírají 2 kW. Pro elektroměr 3 platí, že FVE vyrábí 3 kW a zároveň neodebírá elektrickou energii.



Obrázek 5, grafické znázornění součtového měření pro prosumera, odběr a výrobu elektřiny [3], Autor: Vojtěch Budín



<b>Elektroměr 1</b> $A = A+(L1) + A+(L2) + A+(L3) - A-(L1) - A-(L2) - A-(L3)$ $A = 2 + 0 + 0 - 1 - 1 - 1$	$A = -1$ $A- = 1$
<b>Elektroměr 2</b> $A = A+(L1) + A+(L2) + A+(L3) - A-(L1) - A-(L2) - A-(L3)$ $A = 2 + 0 + 0 - 0 - 0 - 0$	$A = +2$ $A+ = 2$
<b>Elektroměr 3</b> $A = A+(L1) + A+(L2) + A+(L3) - A-(L1) - A-(L2) - A-(L3)$ $A = 0 + 0 + 0 - 1 - 1 - 1$	$A = -3$ $A- = 3$

Tabulka 3, Výpočty pro součtové měření pro prosumery, odběr a výrobu [3]

### 2.3.3. Srovnání jednotlivých případů

Když tyto příklady porovnáme, můžeme vidět, že pro elektroměr 2 a elektroměr 3 fázové a součtové měření dodávají stejné výsledky, nedostáváme se do fáze kdy by výroba v jedné fázi překonávala spotřebu a v ostatních fázích by stále převládala spotřeba. To se stává v případě fázového měření, kdy se v první fázi spotřeba kompletně nepokryje vyrobenou energií z FVE. To znamená, že v tento moment prosumer prodává 2 kW energie a zároveň nakupuje 1 kW ze sítě. V součtu by se spotřebovaná energie pokryla energií vyrobenou, avšak zvoleným způsobem měření prosumer levněji prodá 1 kW, který by pokryl 1 kW, který draze prodává. Toto potvrzuje, že součtové měření je z finančního hlediska mnohem výhodnější a tento způsob by byl pro měření u prosumerů vhodnější. [3] Může nastat i varianta, kdy by bylo vyprodukováno více elektřiny, než by bylo možno spotřebovat a distribuční síť v danou chvíli není schopná tuto energii přijmout. Distribuční síť musí být neustále v rovnováze a pokud by bylo vyrobeno více elektřiny, než by se v daný okamžik dá spotřebovat, mohlo by to ohrozit provoz distribuční sítě a hrozily by potenciální blackouty. Proto je dodávaný příkon do sítě velmi pečlivě sledovaný a regulovaný. Správce sítě může tvrdě pokutovat výrobce, pokud se dodaný příkon do sítě překročí. Občas je tedy pro výrobce elektrické energie výhodnější platit za dodanou energii. [20] Tudíž i z pohledu výše uvedených případů se může krátkodobě ekonomika obrátit, avšak když se na tento případ podíváme z dlouhodobého hlediska, tak platí důsledky, které jsou uvedeny výše.





### 3. Technicko-ekonomické posouzení součtového a fázového měření pro situace pro FVE s různými výkony

Technicko-ekonomické posouzení fázového a součtového měření vyžaduje analýzu pro různé úrovně instalovaných výkonů fotovoltaických systémů. To zahrnuje porovnání výkonnosti, nákladové efektivity. V našem případě se budeme zabývat následujícími instalovanými výkony:

- **Nulový instalovaný výkon FVE:** Jelikož není instalována FVE a domácnost vykazuje čistou spotřebu, tato kategorie poslouží jako výchozí bod pro porovnání následujících případů
- **Instalovaný výkon 2 kW:** Tento případ reprezentuje malou domácí instalaci, která může být typická pro menší rodinný dům.
- **Instalovaný výkon 5 kW:** Tento scénář již může odpovídat středním domácím instalacím nebo malým komerčním aplikacím.
- **Instalovaný výkon 10 kW:** Větší domácí instalace
- **Instalovaný výkon 20 kW:** Tento případ znázorňuje velkou FVE, která by měla během dne výrobou energie spotřebu kompletně pokrýt, a tudíž by se neměl rozdíl mezi jednotlivými měřeními projevit.

Předmětem simulace je menší rodinný dům, na kterém je instalována FVE s různými instalovanými výkony, které jsou zmíněny v předešlém textu.

#### 3.1. Spotřeba malého domu

Spotřeba elektrické energie v malých domácnostech je komplexní téma, které zahrnuje mnoho různých aspektů od každodenního chování obyvatel po technické specifikace domácích zařízení. V malých domech, které často představují rodinné domy nebo menší bytové jednotky, se elektrická energie spotřebovává na řadu běžných činností, které jsou nezbytné pro běžný život. Tento úvod se zaměří na charakteristiku této spotřeby a identifikuje hlavní spotřebiče elektrické energie, které se v domácnostech běžně nacházejí.

V příkladu je uvažováno s osvětlením a také s běžnými spotřebičemi elektrické energie



## 3.1.1. Spotřeba elektrické energie osvětlení

Osvětlení je v tomto domě rozděleno do třech fází dle následující tabulky, osvětlení se nachází ve všech místnostech, je rozděleno symetricky do fází, aby spotřeby v jednotlivých fázích byly rovnoměrné. Osvětlení je ve dvou pokojích, koupelně, kuchyni s jídelnou, předsíni, obývacím pokojem a na záchodě.

	Záchod	Koupelna	Obývací pokoj	Kuchyně + jídelna	Pokoj 1	Pokoj 2	Předsíň
Fáze [-]	L1	L2	L1	L2	L3	L3	L3
Příkon [W]	2 x 10W	2 x 10 W, 2 x 15W	5 x 10 W, 3 x 20 W	3 x 10 W, 3 x 18 W	4 x 10 W, 1 x 15 W	4 x 10 W, 1 x 15 W	3 x 12 W

Tabulka 4, Rozdělení osvětlení do jednotlivých fází

Pro osvětlení byla simulována spotřeba elektrické energie, podrobná tabulka spotřeby elektrické energie za osvětlení je uvedena v příloze.

Jednotlivé fáze	Spotřeba [Wh]
L1	229,50
L2	252,25
L3	232,75
Součet	Spotřeba [Wh]
Σ	714,50

Tabulka 5, Rozdělení spotřeby elektrické energie za osvětlení v domácnosti

## 3.1.2. Spotřeba elektrické energie spotřebiče

V domácnosti se nacházejí typické spotřebiče elektrické energie, které jsou uvedeny v Tabulce 6.

Fáze [-]	L1	L2	L3	L2	L1	L3	L3
	Elektrická trouba	Mikrovlnná trouba	Rychlovarná konvice	Indukční varná deska	Lednice s mrazákem	Televize	Notebook
Příkon [W]	2350	1500	1900	6000,00	17,12	300	45
Stand by příkon [w]	1	1	10	1	17,12	1	1

Fáze [-]	L1	L1	L3	L2	L1	L3	L3	L3
	Počítač, stolní	Pračka	Sušička	Myčka	Router	Nabíječka na telefon	Tiskárna	Monitor
Příkon [W]	80,00	425	3500	283,3	7	10	80	75
Stand by příkon [w]	11	1	1	1	7	0,5	5	4

Tabulka 6, Rozdělení jednotlivých spotřebičů do fází

V kontextu této práce se uvažuje pro simulaci varná deska, která je obvykle připojena ve dvou fázích, jako jednofázový spotřebič elektrické energie.

Jednotlivé fáze	Spotřeba [Wh]
L1	3814,21
L2	3857,25
L3	3874,24
Součet	Spotřeba [Wh]
Σ	11545,70

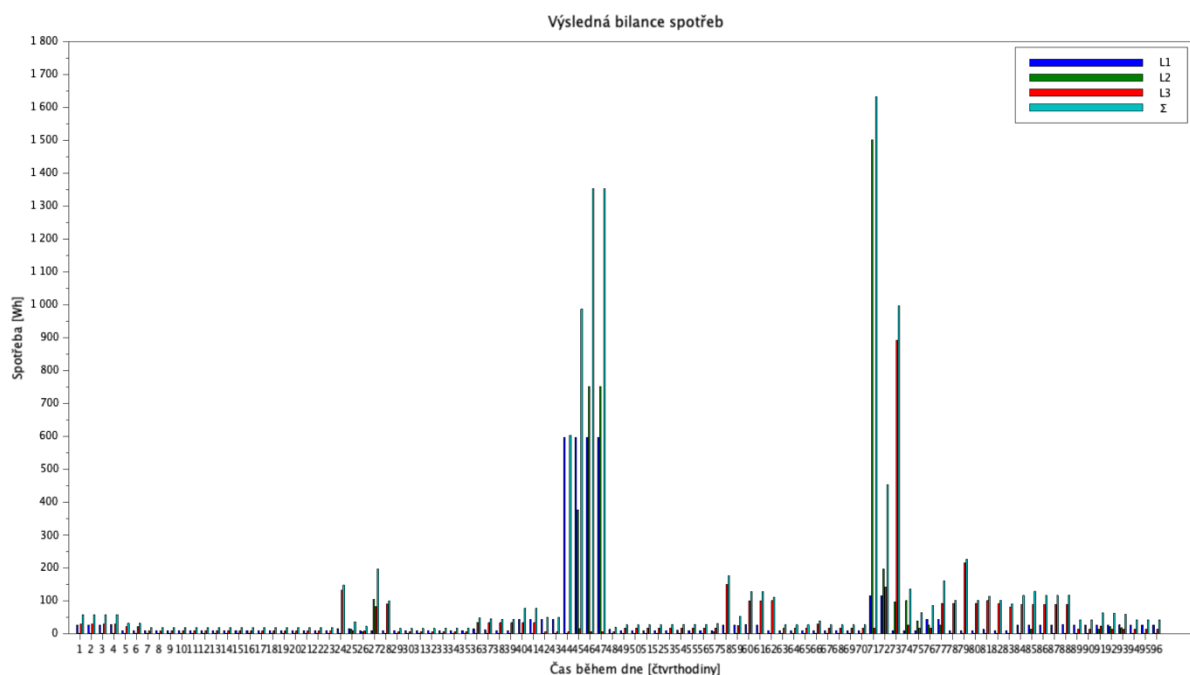
Tabulka 7, Rozdělení spotřeb spotřebičů elektrické energie v domácnosti



## 3.1.3. Celková bilance spotřeby elektrické energie

Jednotlivé fáze	Spotřeba [Wh]
L1	4043,71
L2	4109,5
L3	4106,99
Součet	Spotřeba [Wh]
$\Sigma$	12260,2

Tabulka 8, celková bilance spotřeb elektrické energie

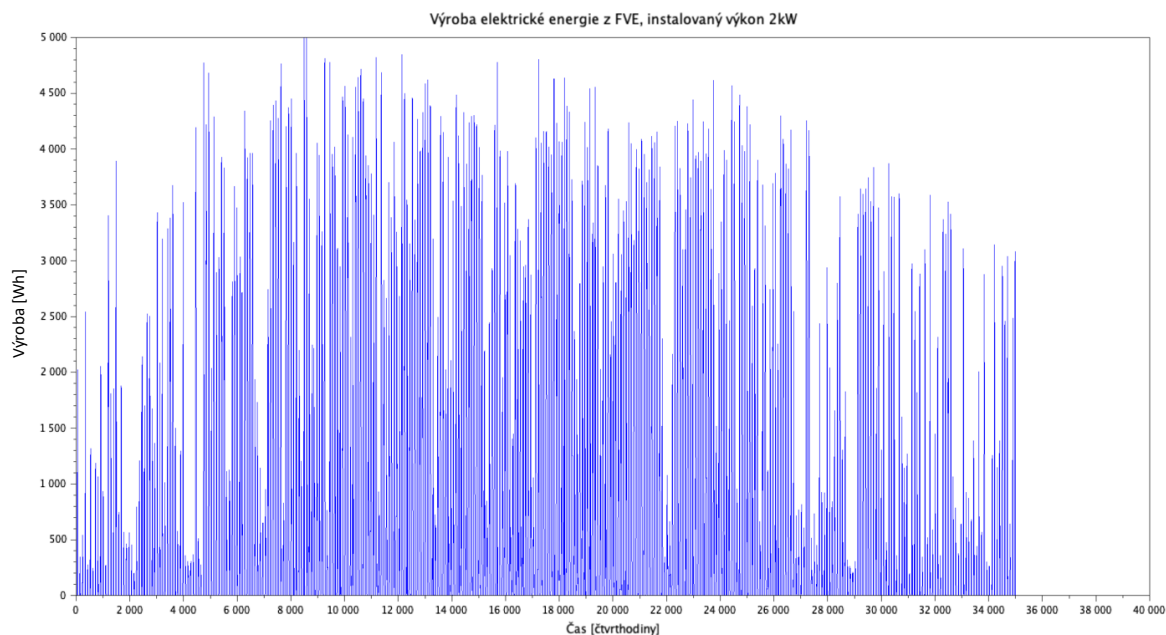


Graf 6, graf bilance spotřeb pro domácnost.

## 3.2. Výroba elektrické energie

## 3.2.1. Výroba elektřiny z FVE s malým instalovaným výkonem

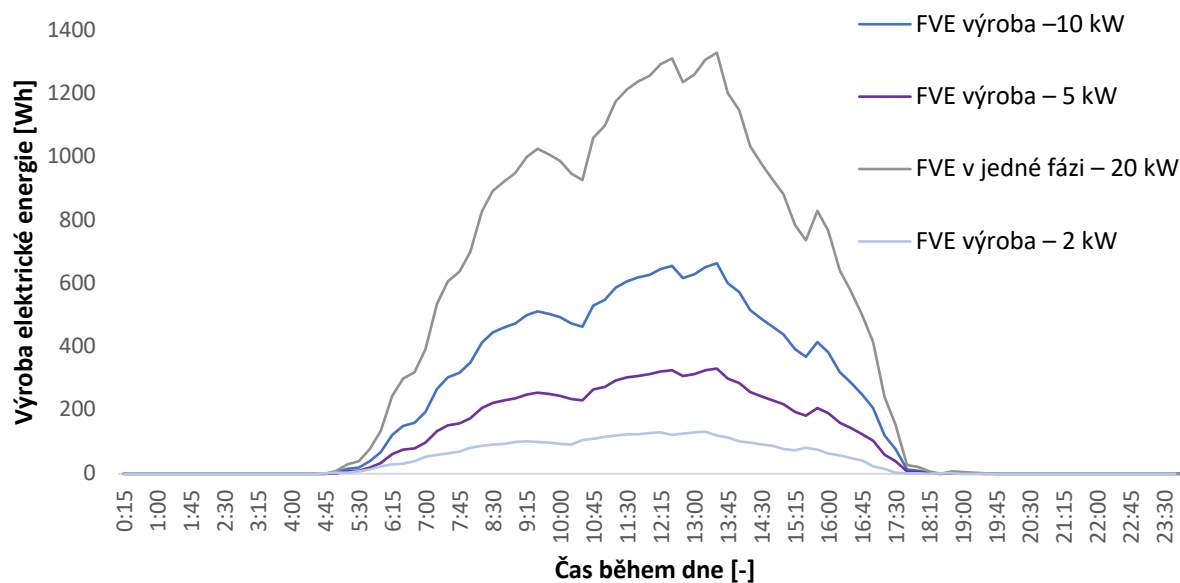
Pro potřeby dalšího ekonomického porovnání součtového a fázového měření byla vytvořena simulace výroby elektřiny ve FVE, a to ve čtvrt hodinových intervalech. Tato simulace nám poskytuje data pro celý kalendářní rok, grafické znázornění této simulace je znázorněno v grafu níže. Simulace byla provedena pro instalované výkony 2kW, 5 kW, 10 kW a 20 kW. Grafy pro instalované výkony 5, 10 a 20 kW, jsou uvedené v příloze.



Graf 7, graf výroby elektrické energie pro FVE s instalovaným výkon 2 kW

Výsledný finanční výpočet je realizován pro jeden den, byl vybrán den 15.6., toto datum bylo zvoleno záměrně, kdy je potenciál využití slunečního záření pro výrobu elektrické energie během dne nejlepší. Výkon, který je pak generován z FVE je následně efektivně distribuován do elektrické sítě pomocí symetrického střídače. Ten zajistí, že se výkon rovnoměrně rozdělí do všech třech fází sítě, což optimalizuje využití vyrobené energie.

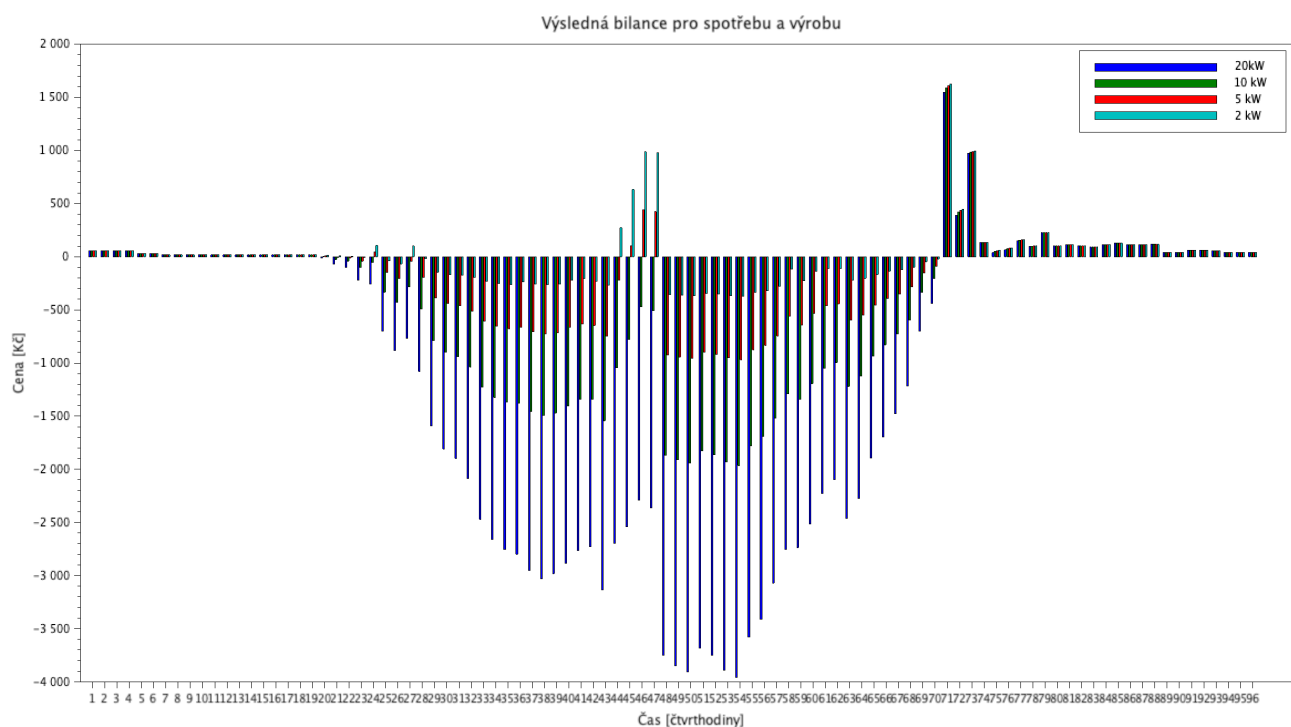
### Výroba elektrické energie v jedné fázi během dne ve FVE



Graf 8, čtvrt hodinová výroba FVE v jedné fázi pro různé instalované výkony během jednoho dne



### 3.3. Výsledná bilance spotřeb a výroby pro malý rodinný domek



Graf 9, Graf bilance spotřeb a výroby

### 3.4. Finanční model

Pro základní finanční model byly využity data z předchozích simulací spotřeb elektrické energie, tyto simulace poskytují podklad pro další finanční analýzu. V první části je finančně analyzována právě tato spotřeba, která bude klíčovým vstupem pro následná finanční modely.

V další části jsou pak vytvořeny dva odlišné finanční modely, jeden pro fázové měření a druhý pro součtové měření. Tyto modely jsou aplikovány na určený den, aby je bylo možno vzájemně zhodnotit za stejných podmínek. V poslední části jsou pak tyto dva modely vzájemně porovnány.

Finanční model zohledňuje aktuální tržní ceny za prodej a nákup elektrické energie, které jsou uvedeny v Tabulka 9.

Ceny za nákup a prodej elektrické energie	
Cena za nákup elektrické energie [kč/kW]	Cena za prodej elektrické energie [kč/kW]
-3,509	1,5

Tabulka 9, Ceny za nákup a prodej elektrické energie [24]



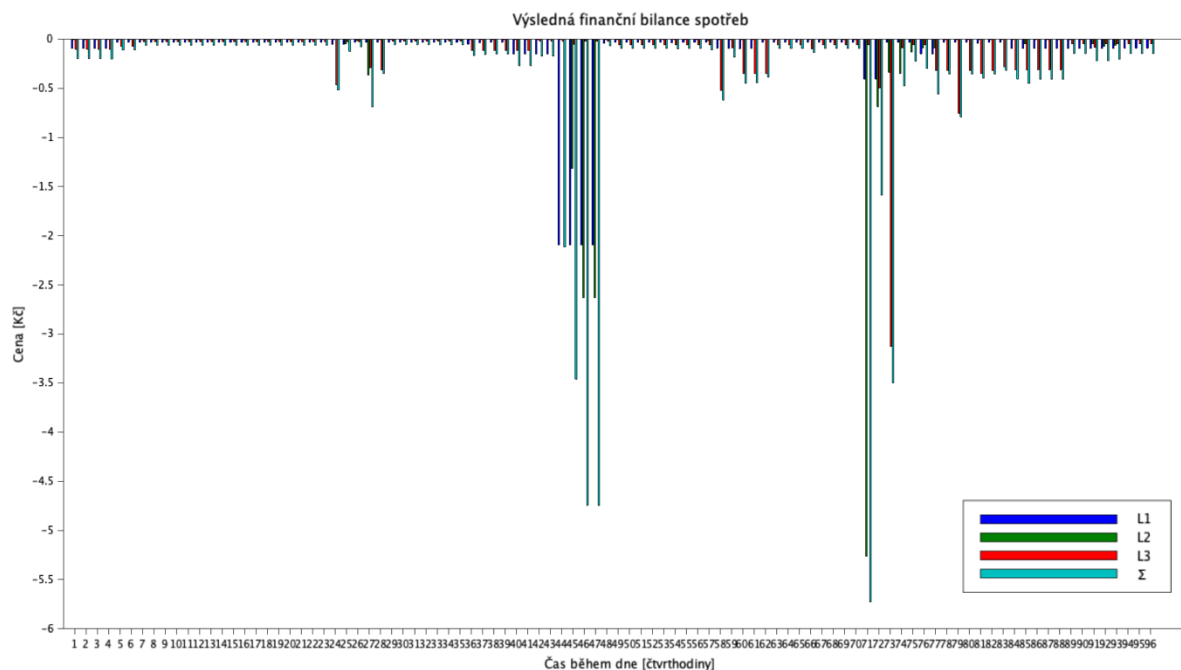
## 3.4.1. Spotřeba elektrické energie:

V tabulce 10 jsou uvedeny ekonomické výsledky pro čistou spotřebu elektrické energie. V jednotlivých fázích vidíme, že je spotřeba poměrně dobře rozdělena do jednotlivých fází a celková cena za spotřebu za jeden den vyšla 43,02 Kč. Tato suma představuje denní finanční zátěž pro daný den a je vypočítána na základě aktuálních finančních tarifů.

Jednotlivé fáze	Cena [Kč]
L1	-14,19
L2	-14,42
L3	-14,41
Součet	Cena [Kč]
Σ	-43,02

Tabulka 10, Finanční model spotřeby elektrické energie v jednotlivých fázích

Následující graf zobrazuje finanční bilanci po čtvrthodinách a poskytuje informace o celém průběhu dne. Ilustruje, jak se během dne mění spotřeba elektrické energie a s tím spojené náklady. V tomto případě můžeme vidět dva primární okamžiky, kdy dochází k nárůstu spotřeby elektrické energie. **Vaření a příprava jídla**, asi nejvýznamnější špička se objevuje v dobách, které odpovídají časům kdy se pravidelně připravuje a konzumuje jídlo. Během tohoto času se používají různé kuchyňské spotřebiče elektrické energie, které jsou detailněji popsány v kapitole 0. **Noční spotřeba** je druhou významnou částí spotřeby elektrické energie. V tomto čase se zvyšuje spotřeba energie kvůli osvětlení, sledování televize, práci na počítačích a dalších spotřebičů, které jsou více využívány ve večerní době.



Graf 10, Graf finanční bilance pro spotřebu domácnosti

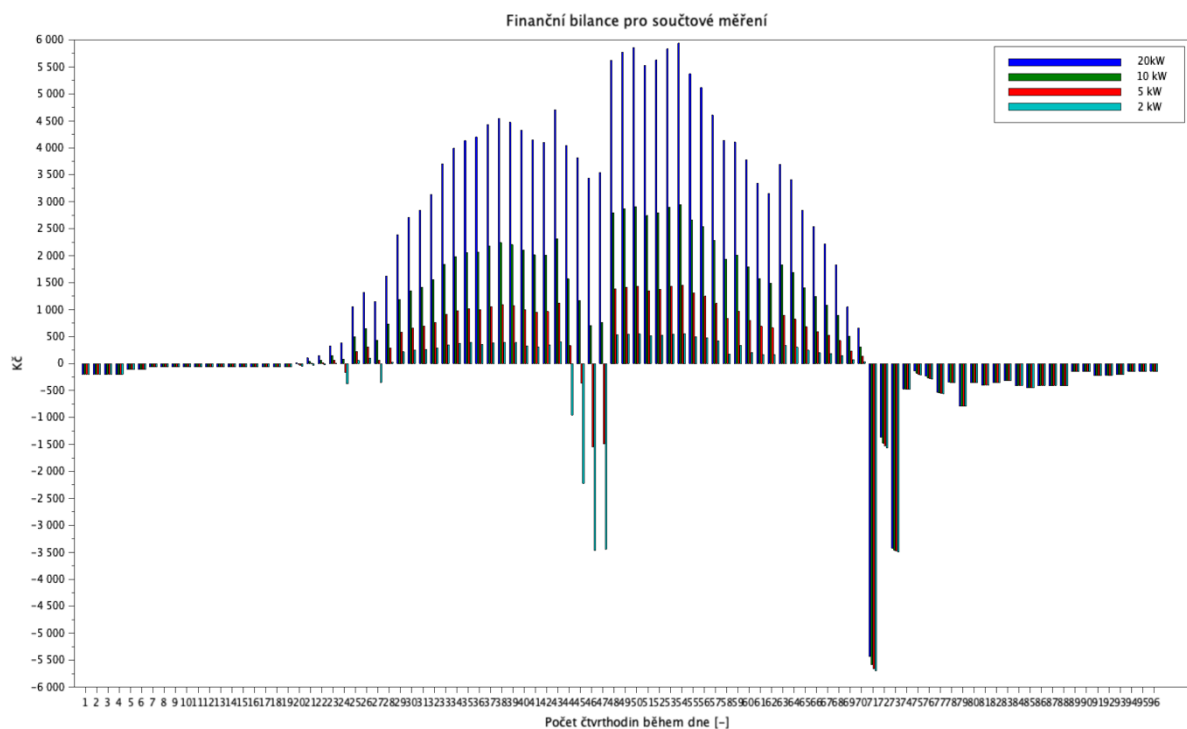
### 3.4.2. Součtové měření

V započítání výrob z FVE se nejdříve podíváme na variantu, která uvažuje součtové měření. Veškeré výpočty byly provedeny jako ve vzoru výpočtu, který byl uveden v kapitole 2.3.2.

Tabulka 11 nám říká, jak jednotlivé instalované výkony FVE přispívají k celkové bilanci za elektrinu. Můžeme vidět, že vlastně až na variantu, kde je instalovaný výkon 2 kW při kterém zaplatíme za tento den 18,09 Kč, je celková bilance vždy kladná a pro instalovaný výkon 20 kW vyděláme během dne 151,4 Kč.

Instalovaný výkon FVE	Cena [Kč]
20 kW	151,40
10 kW	60,71
5 kW	13,31
2 kW	-18,09

Tabulka 11, Výsledné ceny za elektrickou energii pro jednotlivé instalované výkony s použitím součtového měření



Graf 11, Graf finanční bilance pro součtové měření

### 3.4.3. Fázové měření

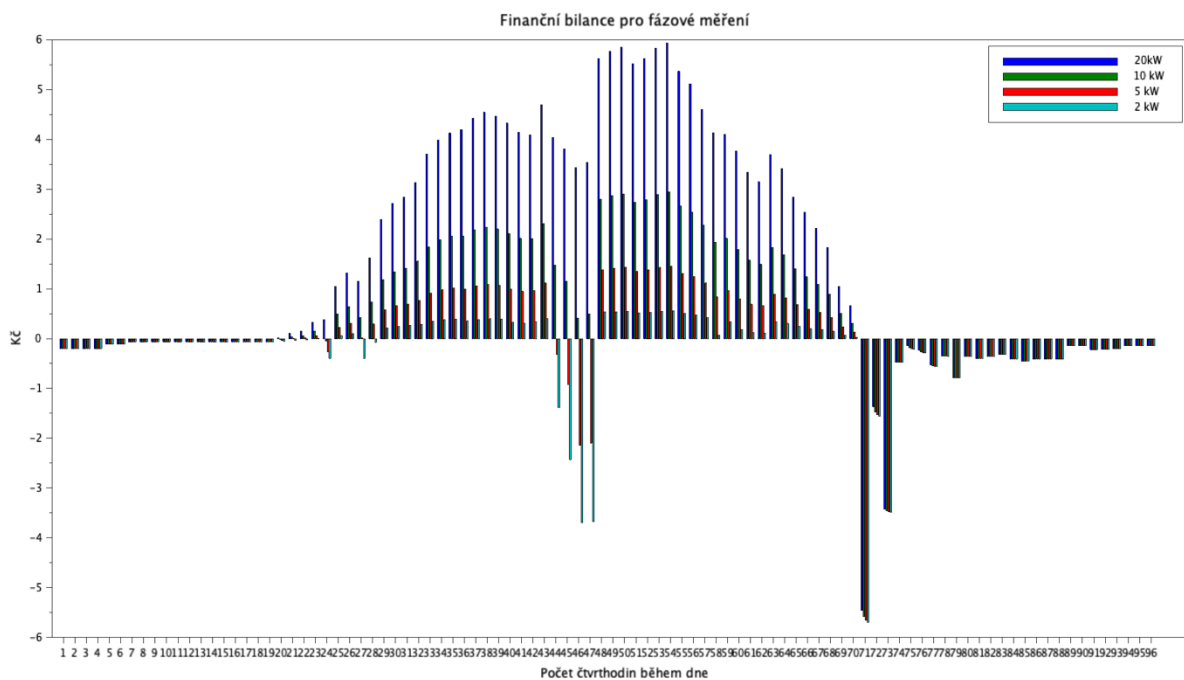
Dále se podíváme na variantu, která uvažuje fázové měření. Veškeré výpočty byly provedeny jako ve vzoru výpočtu, který byl uveden v kapitole 2.3.1.

Tabulka 12 nám říká, jak jednotlivé instalované výkony FVE přispívají k celkové bilanci za elektrinu. Znovu můžeme vidět, že až na variantu, kde je instalovaný výkon 2 kW při kterém zaplatíme za tento den 19,61 Kč, je celková bilance vždy kladná a pro instalovaný výkon 20 kW vyděláme během dne 151,38 Kč.

Instalovaný výkon FVE	Cena [Kč]
20 kW	151,38
10 kW	59,91
5 kW	10,72
2 kW	-19,61

Tabulka 12, Výsledné ceny za elektrickou energii pro jednotlivé instalované výkony s použitím fázového měření





Graf 12, Graf finanční bilance pro Fázové měření

#### 3.4.4. Porovnání jednotlivých instalovaných výkonů FVE

Už z předešlých kapitol můžeme vidět, že se tyto dva postupy měření poměrně liší, v následující kapitole se podíváme na porovnání jednotlivých instalovaných výkonů zvlášť.

Z předchozích kapitol textu vyplývá, jak bylo předpokládáno, že dva zvolené postupy měření přinášejí odlišné výsledky. Následující kapitola se bude detailněji věnovat porovnání těchto měřících metod v kontextu jednotlivých instalovaných výkonů, budeme analyzovat rozdíly ve finančním hodnocení a důvody těchto rozdílů.

#### Instalovaný výkon FVE 20 kW:

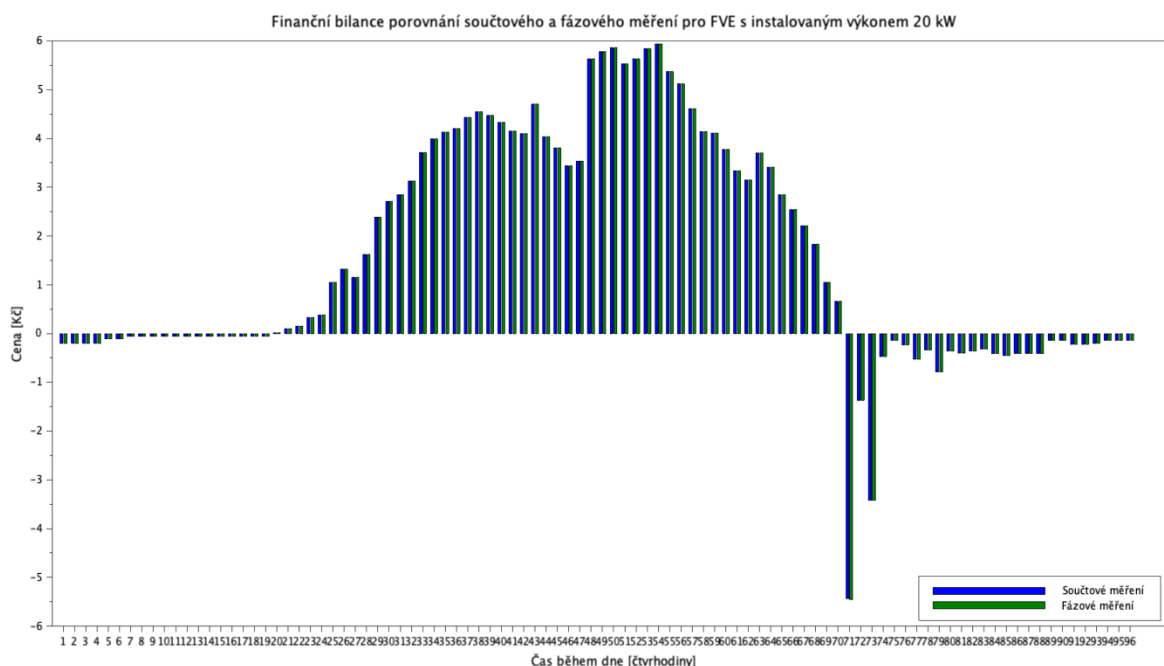
Finanční bilance	
Součtové měření [Kč]	Fázové měření [Kč]
151,40	151,38

Tabulka 13, Porovnání součtového a fázového měření pro instalovaný výkon FVE 20 kW

V kontextu porovnání, můžeme pozorovat, že rozdíly mezi jednotlivými způsoby měření jsou obecně minimální. Specificky se však objevuje malá anomálie, která stojí za zmínku. Konkrétně v čase 17:45, což odpovídá čtvrt hodině číslo 71, se data měřené dvěma různými metodami liší, ale pouze o 0,02 Kč. Tento moment představuje v měření největší zaznamenanou odchylku, což naznačuje, že oba měřící systémy se při větších instalovaných výkonech FVE neliší a



poskytují identické výsledky. Avšak pro celkovou analýzu to udává jistý trend, který se bude dále jenom potvrzovat.



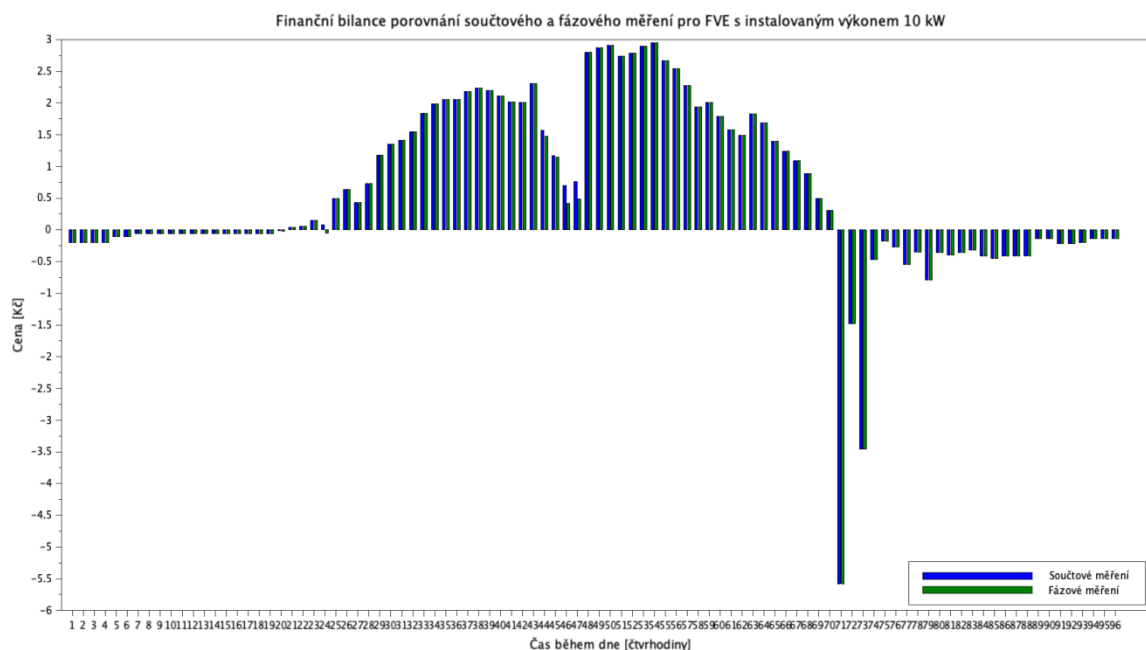
Graf 13, Graf bilance porovnání součtového a fázového měření pro FVE s instalovaným výkonem 20 kW

### Instalovaný výkon FVE 10 kW:

Finanční bilance	
Součtové měření [Kč]	Fázové měření [Kč]
60,71	59,91

Tabulka 14, Porovnání součtového a fázového měření pro instalovaný výkon FVE 10 kW

V kontextu analýzy instalovaného výkonu FVE 10 kW, můžeme pozorovat, že pro jednotlivé případy jsou rozdíly minimální. I když jsou malé, jsou nyní více výrazné ve srovnání s dřívějšími daty. Znovu se objevuje anomálie, která se vyskytla konkrétně v čase od 11:00 do 11:45, což odpovídá čtvrt hodinám 44-47. Ukazuje se, že finanční dopad rozdílných měření může být poměrně značný i při malých odchylkách. Celkově se finanční částky za den liší o 0,8 Kč, což sice vypadá jako nepatrný rozdíl. Tento výsledek vyjádřen procentuálně představuje 1,32 %, což už může mít poměrně významný dopad, hlavně pokud se zaměříme na dopad v roční úrovni.



Graf 14, Graf bilance porovnání součtového a fázového měření pro FVE s instalovaným výkonem 10 kW

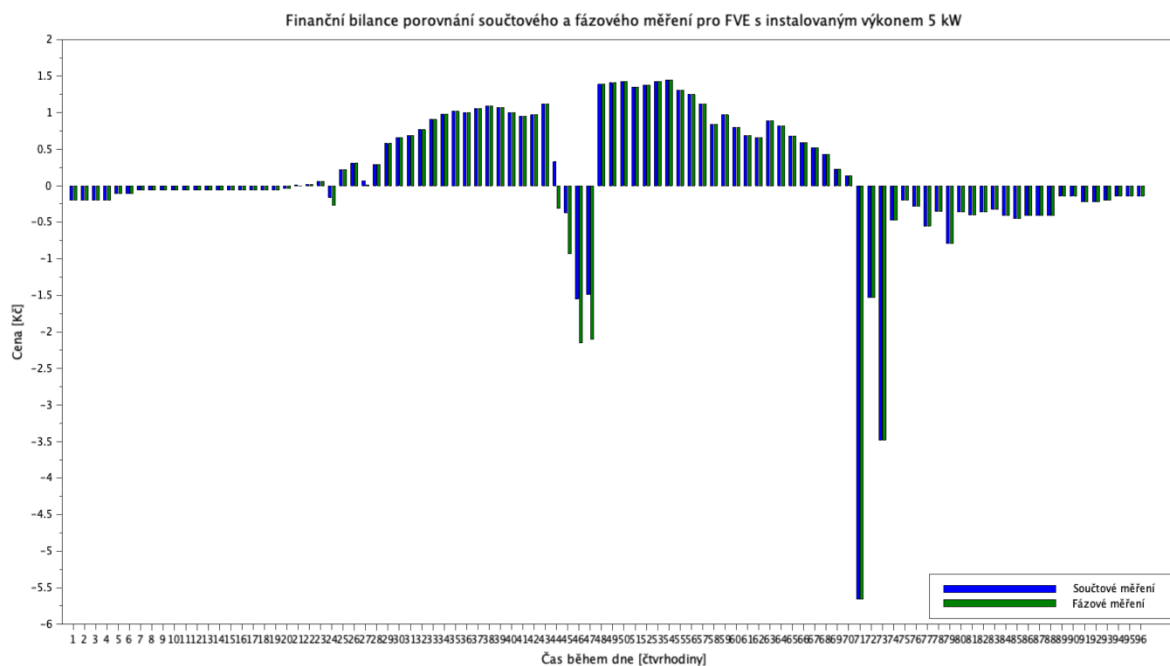
### Instalovaný výkon FVE 5 kW:

Finanční bilance	
Součtové měření [Kč]	Fázové měření [Kč]
13,31	10,72

Tabulka 15, Porovnání součtového a fázového měření pro instalovaný výkon FVE 5 kW

Případ s instalovaným výkonem FVE 5 kW je co se týče rozdílů mezi těmito měřícími metodami asi nejznatelnější z pozorovaných případů. Za jeden den se odchylky objevují hlavně v ranních a poledních hodinách, kde celková odchylka cen za celý den je 2,59 Kč, což v procentuálním vyjádření dává 19,46 %. Velmi zajímavý jev se objevuje v čase 11:00, který odpovídá čtvřhodině 44, v tomto čase můžeme vidět, že při použití součtového měření se v tento moment dodává energie do sítě a systém vydělává. Naproti tomu, fázové měření ukazuje zcela odlišný obraz. U fázového měření se dostáváme do záporných čísel. Což vlastně podtrhuje tento měřící paradox.

Pokud se vezme v úvahu (v realitě se tato částka bude měnit), že tento denní rozdíl 2,59 Kč se opakuje každý den, během roku se tato částka může nasčítat do poměrně velkého rozdílu.



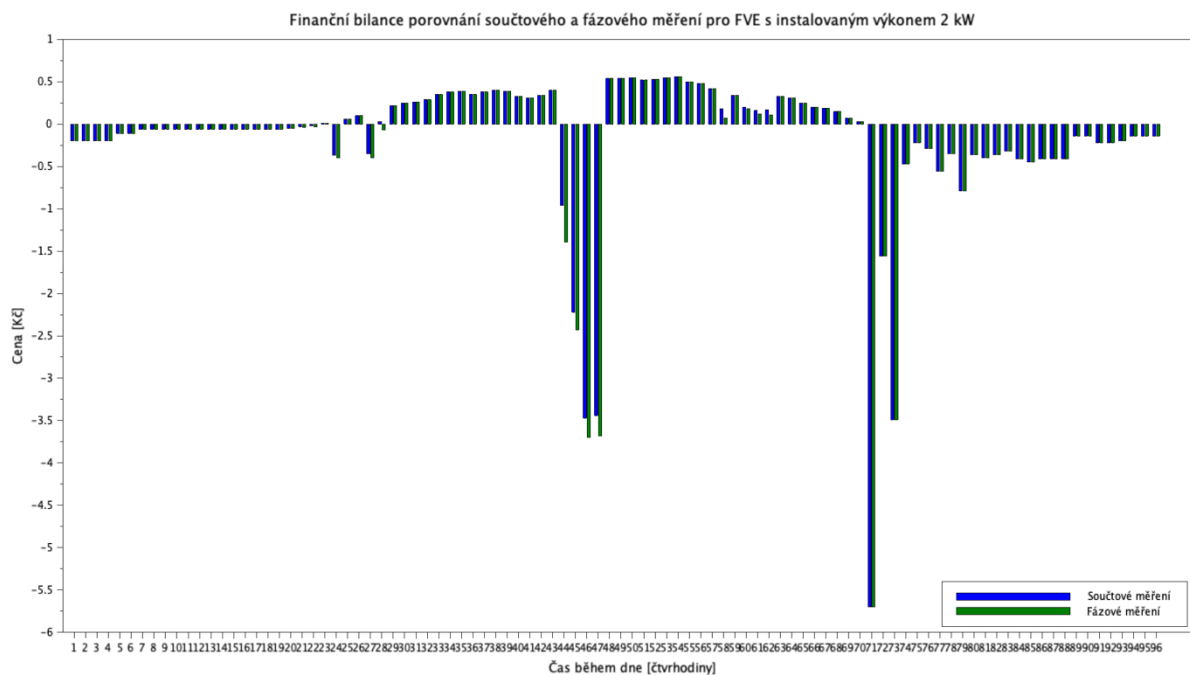
Graf 15, Graf bilance porovnání součtového a fázového měření pro FVE s instalovaným výkonem 5 kW

### Instalovaný výkon FVE 2 kW:

Finanční bilance	
Součtové měření [Kč]	Fázové měření [Kč]
-18,09	-19,61

Tabulka 16, Porovnání součtového a fázového měření pro instalovaný výkon FVE 2 kW

V případě instalovaného výkonu FVE 2 kW je co se týče rozdílů také znatelný, avšak se sníženým instalovaným výkonem FVE se tento rozdíl mezi jednotlivými způsoby měření také snížil, v jednotlivých fázích se tak často neprojeví dodávka energie z FVE, která by mohla způsobit rozdíly mezi fázovým a součtovým měřením. Konečný finanční rozdíl pro daný den dosáhl hodnoty 1,52 Kč, tento finanční rozdíl mezi měřeními je znatelný a znovu by se v delších časových intervalech mohl významně projevit a mít významný dopad na celkové náklady na elektřinu.



Graf 16, Graf bilance porovnání součtového a fázového měření pro FVE s instalovaným výkonem 2 kW

## 4. Zhodnocení výsledků

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo provést technicko-ekonomické porovnání fázového a součtového měření u fotovoltaických elektráren s různými instalovanými výkony. Cílem bylo zjistit, jaký vliv mají tyto dva rozdílné způsoby měření na ekonomickou efektivitu.

V úvodní části práce byla nejprve představeny a podrobně vysvětleny obě metody měření, které jsou běžně používány v domácnostech, elektrárnách a také u malých domácích instalací FVE. Fázové měření je charakterizováno měřením výkonu v jednotlivých fázích elektrické sítě. Součtové měření, na druhé straně, sdružuje data ze všech fází do jednoho údaje.

V další části text pokračuje analýzou legislativy, která se týká měření elektrické energie. Zvláštní pozornost byla věnována energetickému zákonu a příslušné vyhlášce o měření. Tato vyhláška je zásadní, neboť v České republice nařizuje použití fázového měření v uvedených případech, což může mít významný dopad na provoz a účtování energie pro majitele FVE.

V následující části bakalářské práce se věnuji historickému vývoji fotovoltaických elektráren a elektrifikace. Tato kapitola začíná popisem prvních experimentů s fotovoltaickým efektem v 19. století a sleduje klíčové milníky ve vývoji technologií až po současnost. Dále je v této



Vojtěch Budín

kapitole stručně vysvětlen princip fungování fotovoltaického článku. Je popsán způsob, jakým fotovoltaické články přeměňují sluneční světlo na elektrickou energii pomocí polovodičových materiálů, které vytvářejí elektrický proud, když jsou vystaveny světlu. Poté se kapitola zaměřuje na vývoj a roli FVE v kontextu dnešní doby. Zde jsou zdůrazněny současné trendy, jako je zvyšování účinnosti, snižování nákladů na výrobu a integrace do stávajících energetických systémů. Diskutovány jsou i výzvy, jako například potřeba lepšího skladování energie a řešení pro integraci rozšířeného využívání obnovitelných zdrojů do tradičních síťových struktur. Tato část práce také zkoumá, jak fotovoltaické technologie a trendy ovlivnily a stále ovlivňují energetickou politiku a ekonomiku na globální úrovni, včetně dopadu na snižování emisí skleníkových plynů a podporu udržitelného rozvoje.

Následující kapitola práce je zaměřena na technické důsledky instalovaných výkonů fotovoltaických elektráren (FVE) a jejich vliv na spotřebu elektrické energie v domácnostech. Nejprve provádíme analýzu spotřeb elektrické energie v domácnosti, kde identifikujeme hlavní spotřebiče a následně zkoumáme faktory, které tuto spotřebu ovlivňují.

Dále se text věnuje konkrétním technickým důsledkům pro různé úrovně instalovaného výkonu FVE. Začíná situací, kde není instalovaný žádný výkon FVE, který slouží jako kontrolní scénář pro srovnání s dalšími stavy. Poté přecházíme k analýze malých fotovoltaických systémů s výkonem do 50 kW, které jsou často využívány v rodinných domech. Nakonec se zaměřujeme na větší fotovoltaické instalace a jejich schopnost produkce elektrické energie na průmyslové úrovni.

V poslední části kapitoly je provedeno srovnání technických důsledků různých úrovní instalovaných výkonů na fiktivním příkladu, kde je porovnáno fázové a součtové měření. To umožňuje lépe pochopit, jak různé přístupy měření ovlivňují zaznamenanou spotřebu energie a jak se od sebe mohou na výsledné faktuře lišit.

V poslední část této bakalářské práce je věnována technicko-ekonomickému posouzení fázového a součtového měření. V této části jsou analyzována simulovaná data spotřeb a výroby elektrické energie v malé domácnosti. Spotřeba zahrnuje osvětlení a spotřebiče elektrické energie, které jsou rozděleny symetricky do jednotlivých fází, aby spotřeba byla rovnoměrně rozdělena a nevznikaly nesymetrické zatížení sítě.



Vojtěch Budín

V části spotřeb jsou uvedeny tabulky a grafické znázornění těchto spotřeb během jednoho dne, kde se měří postupně po čtvrt hodinových intervalech. Spotřeba vykazuje typický průběh pro domácnost, kdy se hlavní špičky objevují v časech, kdy se vaří a ve večerních hodinách, kdy se více svítí a používá se zábavní elektronika.

V analýze výroby elektřiny je použit model, který vytvoří simulovanou výrobu elektrické energie pro celý rok, kdy jsou data uvedena znovu po čtvrt hodinách. Následně je vybrán jeden konkrétní červený den a to 15.6., kdy je potenciál využití slunečního záření největší. Všechny data jsou pak uvedena v tabulce a graficky znázorněna.

Finanční model poté čerpá z předchozích dat a také uvažuje aktuální ceny za nákup a prodej energie v ČR. Poté je uvedena finanční analýza pro spotřebu elektrické energie, která je znovu uvedena v tabulkové a grafické formě, kdy za jeden den zaplatí 43,02 Kč.

Závěrem jsou uvedeny finanční analýzy pro jednotlivé instalované výkony z hlediska nejdříve součtového a poté fázového měření. Tyto dva případy jsou poté postupně porovnány pro všechny instalované výkony 2 kW, 5 kW, 10 kW a 20 kW.

	Součtové měření	Fázové měření	Rozdíl
Instalovaný výkon FVE [kW]	Cena [Kč]	Cena [Kč]	Cena [Kč]
20	151,40	151,38	0,02
10	60,71	59,91	0,80
5	13,31	10,72	2,59
2	-18,09	-19,61	1,52

*Tabulka 17, Porovnání všech instalovaných výkonů FVE pro finanční hodnocení fázového a součtového měření*

Z porovnání je vidět, že podle předpokladu se jednotlivé instalované výkony zásadně liší, kdy je při instalovaném výkonu 20 kW možné pozorovat pouze malý rozdíl mezi způsoby měření, kdy tato FVE kompletně pokrývá spotřebu elektrické energie během aktivních hodin, rozdíl těchto měření je pouze 0,02 Kč. Naopak v případě instalovaného výkonu FVE 5 kW zaznamenáváme největší rozdíl a to 2,59 Kč, tedy tato výroba často během dne stačí pouze na některé spotřeby a v kritických časech pokryje spotřebu jenom v jednotlivých fázích, což vytváří vyšší rozdíl mezi fázovým a součtovým měřením. V případě instalovaného výkonu FVE 2 kW se tento rozdíl paradoxně snižuje, avšak když se na to podíváme z jiného úhlu, tak se při tomto instalovaném výkonu často vůbec nepokryje spotřeba, tudíž i rozdíly mezi měřícími metodami jsou menší.



Vojtěch Budín

Na závěr můžeme shrnout, že fázové a součtové měření se v některých případech může poměrně zásadně lišit. Pro domácnosti, které pouze odebírají elektrickou energii a také pro elektrárny, které pouze dodávají elektrickou energii do sítě se tento rozdíl vůbec neprojeví, a proto není v těchto situacích problémem. Když se na fázové měření podíváme z pohledu prosumera, tak zde nastává již zmíněný problém, při pouhém použití fázového měření se touto metodou ztrácí finance, na rozdíl od součtového měření, které ve všech pozorovaných případech vychází lépe. V aktuální době je stále v Česku legislativně nařízeno fázové měření, to uvádí prosumery v očividnou nevýhodu, která pramení pouze z nařízeného měření, toto se však bude měnit, kdy od 1.7.2024 vejde v platnost novela energetického zákona Lex OZE II, která mění způsob měření na součtový, které nebude probíhat přímo, ale v rámci komunitní energetiky bude možno sdílet elektrickou energii sám sobě, což se na faktuře bude chovat jako měření součtové. Přímé součtové měření aktuálně není zavedeno, protože by to znamenalo výměnu veškerých měřících zařízení a následné zvýšení nákladů za distribuci.





## Literatura

- [1] Úvod do liberalizované energetiky Trh s elektřinou [online]. 2016. Praha 2016: Asociace energetických manažerů, 2016 [cit. 2023-04-24]. ISBN 978-80-260-9212-4. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/kniha-trh-s-elektřinou.pdf>
- [2] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 359/2020 Sb. o měření elektřiny. In: . 2020, 146/2020.
- [3] HRZINA, Pavel. *Materiály a přednášky Pavla Hrziny* [Online]. 2020.
- [4] ERÚ. *ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČESKÉ REPUBLIKY. 2022.* Dostupné také z: <https://eru.gov.cz/rocni-zprava-o-provozu-elektrizacni-soustavy-cr-pro-rok-2022>
- [5] ERÚ. *VÝVOJ POČTU PROVOZOVEN A INSTALOVANÉHO VÝKONU PODPOROVANÝCH ZDROJŮ ENERGIE. 2023.* Dostupné také z: <https://eru.gov.cz/vyvoj-poctu-provozoven-instalovaneho-vykonu-podporovanych-zdroju-energie-ke-dni-31122023>
- [6] Jak vypadá provoz energeticky úsporné domácnosti. *Eon.cz* [online]. 2023 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/energie/uspory-energie/jak-vypada-provoz-energeticky-usporne-domacnosti/>
- [7] *Energetický štítek budovy: K čemu slouží a jak ho získat?* [online]. 2021 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/energeticky-stitek-budovy-k-cemu-slouzi-a-jak-ho-ziskat-154177>
- [8] PRINCIPI, Paolo a Roberto FIORETTI. A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office – compact fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED) – a case study,. *Journal of Cleaner Production*. 2014, **83**(,), 96-107. ISSN 0959-6526.
- [9] Milníky české energetiky. *Cez.cz* [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vzdelavani-a-vyzkum/vzdelavani-a-energetika-zabavne/energeti-ahistorie-a-soucasnost/vyznamna-data-ceske-energetiky>



[10] ČEZ. *Energetika v ČR* [online]. [cit.2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-v-cr>

[11] *Elektřina v ČR: výroba, spotřeba a emise* [online]. 2023 [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/elektrina-cr>

[12] Evolution of Green Energy Production in Czech Republic [online]. Durcansky, P.; Zvada, B.; Nosek, R.; Najser, J.; Najser, T. Appl. Sci. 2023, 13, 2185.  
<https://doi.org/10.3390/app13042185>

[13] BENDA, Vítězslav a Ladislava ČERNÁ. PV cells and modules. 2020, 0-8.  
[https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(20\)32509-3.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(20)32509-3.pdf)

[14] Global Solar Energy Trends in 2024: Facts and Forecasts. *GREENMATCH* [online]., [cit. 2024-05-11]. Dostupné z: <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/solar-pv-statistics>

[15] *Technology collaboration program* [online]. [cit. 2024-05-11]. Dostupné z: <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2024/>

[16] [online]. [cit. 2024-05-11]. Dostupné z: [https://iea-pvps.org/trends\\_reports/trends-2023/](https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-2023/)

[17] Technology Review: History, Fundamentals and Applications. *Energies* 2022, 15, 1823., Marques Lameirinhas, R.A.; Torres, J.P.N.; de Melo Cunha, J.P. A Photovoltaic,  
<https://doi.org/10.3390/en15051823>

[18] BENDA, Vítězslav. *Fotovoltaické systémy*. ,. 2011

[19] ČEZ. *Fotovoltaický jev* [online]. , [cit. 2024-05-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>

[20] Co jsou to záporné ceny elektřiny? Proč nám škodí? *Solární magazín* [online]. 2024, 4.3.2024 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://solarnimagazin.cz/co-jsou-to-zaporne-ceny-elekriny-proc-nam-skodi/>

[21] Nesymetrie napětí v distribuční soustavě. , [online]. 2016 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/nesymetrie-napeti-v-distribucni-soustave>



Vojtěch Budín

[22] *Sdílená elektřina startuje, víte co je LEX OZE 2 ?* [online]. 2024 [cit. 2024-05-14].

Dostupné z: <https://www.nasestrecha.cz/clanky/sdilena-elektrina-lex-oze-2/>

[23] Návrh vyhlášky, kterou se mění vyhláška č. 359/2020 Sb., o měření elektřiny

[24] *Srovnaný magazín* [online]. 2024. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/jake-jsou-vykupni-ceny-elektriny-z-fotovoltaiky-v-roce-2024/>

## Příloha

Příloha je dostupná pouze elektronicky na stránkách [dspace.cvut.cz](https://dspace.cvut.cz).



## Stručné shrnutí pro fázové a součtové měření v ČR

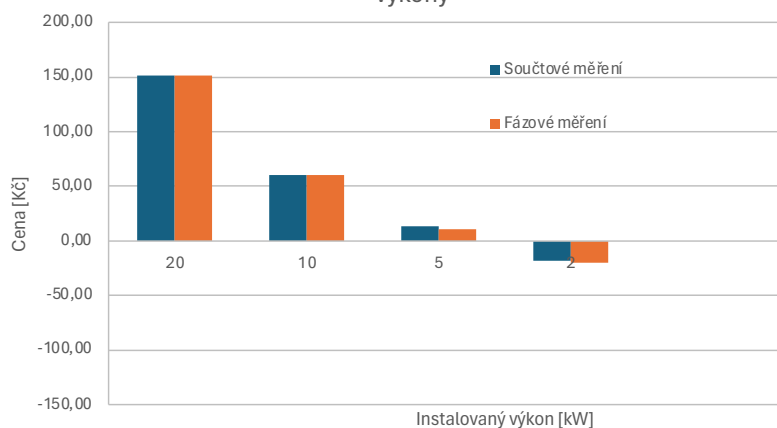
Součtové a fázové měření jsou v kontextu aktuální legislativy poměrně znatelným problémem pro výrobce elektřiny (tzv. prosumeři), kteří mají na svých domech menší fotovoltaické instalace.

**Měření po fázích:** Elektroměr zaznamenává v daném okamžiku směr toku energie v každé fázi a načítá je do součtového registru, kde jednotlivé toky ve fázích rozděljuje na spotřebu nebo dodávku. Tento způsob měření podněcuje problém, tedy v jednom okamžiku může být na elektroměru v jedné fázi vedena spotřeba a v druhé potom dodávka elektrické energie, tedy prosumer platí za nákup elektrické energie a zároveň prodává elektrickou energii za nižší cenu.

**Měření součtové:** Elektroměr v daném okamžiku zaznamenává pouze součet energií ve všech fázích, dodávka i spotřeba elektřiny je v daný okamžik změřena a následně sečtena. Až následně je rozdělena do registru dodávky, nebo spotřeby. Tím, že zde se provede měření v celkovém součtu, tak vždy bude výsledkem buď odběr nebo dodávka elektrické energie. Proto zde nenastává výše zmíněný fakturační problém.

V simulovaném prostředí malého rodinného domku bylo pozorováno, že zvolený způsob měření ovlivňuje výslednou finanční bilanci, a to hlavně pro menší a malé instalované výkony FVE, kde je větší pravděpodobnost, že se u fázového měření objeví na jedné fázi spotřeba a na ostatních dodávka elektrické energie. To potvrzuje, že tento „problém“, který se objevuje na faktuře za elektřinu, postihuje hlavně prosumery, kteří mají menší domácí instalace, kde se může stát, že v některé fázi spotřeba překoná dodávku elektrické energie a vznikne výše zmíněný rozdíl mezi měřicími metodami.

Porovnání součtového a fázového měření pro jednotlivé instalované výkony



Tabulka 18, Porovnání součtového a fázového měření pro jednotlivé instalované výkony

Naopak způsob měření vůbec nemusí trápit domácnosti, které pouze odebírají elektrickou energii a také větší elektrárny, které nemají spotřebu elektrické energie. To proto, že směr



Vojtěch Budín

toku energie je ve všech fázích pořád stejný, a tedy součtové a fázové měření bude na elektroměru ve výsledku ukazovat stejné výsledky.

Otázkou měření elektrické energie se zabývá novela energetického zákona LEX OZE II, která vejde v platnost 1.7. 2024. Tato vyhláška by měla upravovat právě problematický §11 odstavec (4), tedy původní nařízení měření po fázích mění na měření v součtu se zohledněním směru toků elektřiny v jednotlivých fázích. To však v realitě bude trochu komplikované.

Řešení bude provedeno pomocí sdílení elektrické energie. Novela umožňuje zákazníkům vyrovnávat elektřinu, kterou spotřebují elektřinou, kterou dodávají do sítě. Účetně bude tento proces zaznamenáván jako součet dodané a spotřebované elektřiny. Bohužel nebylo možno zavést přímé součtové měření, páč by to znamenalo zvýšené náklady na distribuci, kde by bylo nutné vyměnit veškerá měřící zařízení.