

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta

Bakalářská práce

Akvizice energetických dat

Zdeněk Vojš

školitel: Ing. Václav Novák, CSc.

České Budějovice 2014

Bibliografické údaje

Vojč Z., 2014: Akvizice energetických dat.

[The acquisition of energy data. Bc.. Thesis, in Czech.] – 68 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou získávání a zpracování energetických dat, konkrétně měřených hodnot výroby elektrické energie z fotovoltaických elektráren. Práce se zaměřuje na kompletní proces měření energie průběhovými elektroměry, zpracování meteorologických dat, analýzu naměřených dat, nahrazování hodnot, zpracování dat pro potřeby operátora trhu. Výsledkem práce je návrh systému, který formou softwarové aplikace pokryje proces zpracování naměřených dat, se zaměřením na nahrazování chybějících měřených dat za pomoci analýzy meteorologických dat.

Abstract

The bachelor thesis deals with the acquisition and processing of energy, specifically with the measured values of electricity production from the solar power plants. The work focuses on the entire process, from production, continual measurement of energy meters, meteorological data processing, and analysis of the measured data replacement values for the data processing needs of market operator. The result is a system design and software application that cover entire process with a focus on replacing the missing measure data through the analysis of meteorological data.

Klíčová slova

Fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický panel, meteorologická data, meteorologická stanice, ProLite, ProLiteGraph, průběhový elektroměr, distribuční společnost, operátor trhu, odečtová centrála, webové služby, odečítač, teplota, globální záření, přímé záření, difúzní záření, výkon, etalon, dopadový úhel, solární čas

Keywords

Fotovoltaic producer, photovoltaic panel, meteorological data, meteorological station, ProLite, ProLiteGraph, running electrometer, distribution company, market operator, meter reading central, web services, meter reader, temperature, global radiation, direct radiation, diffuse radiation, power, etalon, impact angle, solar time

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Přírodovědeckou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

24.12.2014

Podpis

Poděkování

Panu DiS. Václavu Šestákovi, provozovateli meteorologické stanice Nová Pec, za poskytnutí dat.

Panu Ing. Václavu Novákovi CSc., školiteli práce

Zadání práce

Obnovitelné zdroje energie pokrývají podstatnou část spotřeby elektrické energie na území Evropy. Řízením a měřením byli pověřeni národní operátoři trhu s energií. Pro Českou Republiku je to Operátor trhu s energiemi. Legislativně mu byla dána pravomoc shromažďovat naměřenou práci elektráren za každou hodinu a za každý den. Výrobce je povinen dodat do 11:00 následujícího dne hodinový činný výkon za předchozí den a to bez ohledu na případné výpadky měřících systémů.

Cílem práce studenta je navrhnout vhodný postup doplnění chybějících dat, dle legislativy operátora trhu tak, aby mohly být odeslány kompletní průběhy hodnot energie operátorovi trhu. Do systému je nutné začlenit generování zprávy pro operátora trhu i elektronický podpis tak, jak vyžaduje legislativa.

Je nutno především vyřešit:

- Krátkodobé výpadky naměřených hodinových průběhů výkonu (práce)
- Dlouhodobé výpadky naměřených hodinových průběhů výkonu (práce)
- Zohlednit počasí a roční či denní období

Pro odesílání dat respektovat legislativní směrnice

Výsledkem práce bude vývoj aplikace pro provozovatele distribuční soustavy, pomocí které pokryje všechny požadované procesy měření a zpracování dat, které jsou dané legislativou.

Obsah

1.	Úvod.....	6
2.	Cíl práce a metodika	8
3.	Fotovoltaická elektrárna	9
3.1	Fyzikální princip, fotoelektrický jev	9
3.2	Fotovoltaické panely	11
4.	Zapojení fotovoltaických elektráren	13
5.	Integrace aplikace do procesu odečtů distribuční společnosti	15
5.1	Reálný procesní model odečtů	15
5.2	Rozbor procesu Profilové odečty elektroměrů	16
5.3	Rozbor procesu Zpracování odečtů	18
6.	Analýza aplikace ProLite	20
6.1	Use case model aplikace ProLite	20
6.1.1	Funkční dekompozice aktérů – vstupní data.....	22
6.1.2	Funkční dekompozice činnosti – Úpravy dat	26
6.1.3	Funkční dekompozice účinnosti – Uložiště	38
6.1.4	Funkční dekompozice účinnosti – Zpracování etalonu	39
6.1.5	Funkční dekompozice činnosti – Nahrazování dat	43
6.1.6	Funkční dekompozice činnosti – příprava zprávy pro OTE	47
7.	Testy	48
7.1	Test výpočtu náhradních hodnot	48
7.2	Testy aplikace pro nahrazování dat	52
8.	Použité technologie	54
9.	Technické řešení aplikace	55
10.	Popis instalace.....	56
10.1	Instalace klienta	56
10.2	Instalace na server	56
11.	Použitá data.....	56
12.	Závěr	57
12.1	Krátkodobé výpadky naměřených hodinových průběhů výkonu	58
12.2	Dlouhodobé výpadky naměřených hodinových průběhů výkonu	58
12.3	Zohlednit počasí a roční či denní období.....	58
12.4	Pro odesílání dat respektovat směrnice OTE ČR.....	58
13.	Definice základních pojmů	59
14.	Použité zkratky	61
15.	Seznam literatury	63
16.	Seznam obrázků.....	65
17.	Seznam tabulek	67
18.	Seznam příloh	68
18.1	Zdroje_dat	68
18.2	Aplikace	68

1. Úvod

V rámci mé profesní praxe se zabývám problematikou odečtů elektrické energie. Jedna z klíčových oblastí mé činnosti je právě zpracování odečtových dat pro operátora trhu. S nástupem fotovoltaických elektráren a zapojováním jejich instalací do distribuční soustavy jsem musel začít řešit zpracování dat z těchto zdrojů, které jsou od jiných např. vodních naprosto odlišné, hlavně v profilu dodávaného výkonu. A proto i postup nahrazování chybějících hodnot musí být jiný než u klasických elektráren. Z těchto důvodů jsem se rozhodl, že se pokusím najít řešení nahrazování chybějících dat u fotovoltaických elektráren. Tuto práci jsem si zadal i proto, že se velmi zajímám o obnovitelné zdroje a jejich „reálné“ možnosti využití.

V současné době probíhá nahrazování chybějících hodnot podle algoritmů, které jsou schopny s uspokojivou přesností nahradit jen krátkodobé výpadky (max. patnáct minut). Tyto výpadky se nahrazují použitím hodnot z předchozích intervalů, nebo průměrnou hodnotou vypočtenou z okolních hodnot. Pro delší časové výpadky tyto metody ztrácejí přesnost. Tyto algoritmy fungují spolehlivě jen u elektráren, které jsou celkem stabilní a vykazují rovnoměrný charakter dodávky.

U fotovoltaických elektráren se projevuje vliv meteorologické situace a to vlastně s okamžitým účinkem. Tak je způsobeno, že charakter dodávky takové elektrárny je velmi nestabilní a v krátkých časových úsecích vykazuje velké výkyvy. Z tohoto důvodu není vhodné pro takový typ elektrárny aplikovat současné nahrazovací algoritmy, které jsou pro delší úseky výpadků nevhodné.



Obrázek 1: Hlavní úkol-nahrazení dat a naznačené řešení.

Proto jsem se rozhodl v rámci této práce vytvořit novou metodu nahrazování výpadků měření dodávek elektrické energie z fotovoltaických elektráren. Během analýzy problému a experimentování s meteorologickými daty jsem dospěl k řešení metodou tzv. etalonu v kombinaci s údaji o teplotách, údaji o globálním slunečním záření a daty z odečítaného elektroměru (obrázek 1).

Pod slovem etalon si představíme normovaný předpis účinnosti zpracování globálního slunečního záření **konkrétní** fotovoltaické elektrárny. Ve své podstatě je to tabulka, která obsahuje seznam měřených časových period v normovaném roce, a u nich jsou uvedeny účinnosti přeměny. Tyto hodnoty jsou vypočítány z historických meteorologických dat a historických dat odečtených z elektroměru.

Tvorba etalonu z výše uvedených dat je marginální částí této práce. Další části této práce se zabývají tvorbou aplikace nahrazování dat, která implementuje zmíněný etalon.

Pro svou práci jsem musel nalézt vhodnou fotovoltaickou elektrárnu, v jejíž blízkosti se nalézá meteorologická stanice s potřebnými čidly. Již delší dobu před zahájením této práce jsem sledoval činnost meteorologické stanice v Nové Peci na Šumavě, kde v dostatečně malé vzdálenosti vyrostla fotovoltaická elektrárna. Po dohodě s provozovatelem stanice jsem se rozhodl využít právě tyto objekty.

2. Cíl práce a metodika

Tato práce se zaměřuje na problematiku nahrazování energetických dat z obnovitelného zdroje elektrické energie, fotovoltaické elektrárny. Jedná se o zpracování odečtových dat za účelem splnění požadavků operátora trhu. Jako hlavní cíl práce jsem si zadal návrh metody nahrazování chybějících dat s ohledem na meteorologická data:

- Získání a zpracování meteorologických dat
- Získání a zpracování historických dat fotovoltaické elektrárny
- Vypracování algoritmu pro nahrazování chybějících dat, s ohledem na výše uvedená data

Podle úkolů v zadání práce jsem se rozhodl, že připravím aplikaci, která bude implementovat funkcionality nahrazování chybějících dat. Tuto aplikaci navrhnu tak, aby bylo možné ji integrovat do stávajících systémů pro zpracování odečtových dat. Tím zajistím její využití pro provozovatele fotovoltaických elektráren a distribuční společnosti. Pro tento účel zahrnu do práce ještě tyto úkoly:

- Integrace aplikace do procesního modelu odečtů distribučních společností
- Převod elektroměrových a meteorologických dat do databázového formátu
- Zpracování provozního deníku elektroměru
- Příprava komunikační zprávy pro operátora trhu

Návrh bude vycházet z procesních schémat představujících procesy fungující v distribučních společnostech. U procesů relevantních pro moji práci provedu rozbor do potřebných podrobností tak, abych mohl určit místo integrace aplikace.

3. Fotovoltaická elektrárna

Protože se budu zabývat nahrazováním měřených dat z fotovoltaických elektráren, myslím, že bude dobré nejprve napsat několik informací o fyzikální podstatě tohoto druhu zdroje elektrické energie. Pro účely této práce uvedu pár informací o zapojení takových elektráren a jejich instalacích, které se dnes běžně používají a můžeme je vidět na polích a střechách domů. Podrobné informace o této problematice jsou dohledatelné v mnoha výtiscích odborné literatury a na Internetu. Kvalitní zdroje informací jsou například v těchto referencích: [1], [2].

3.1 Fyzikální princip, fotoelektrický jev

Roku 1887 Heinrich Hertz během svých experimentů objevil, že světlo jiskříšně rezonátoru podporuje vznik jiskry na sekundárním jiskříšti. Po tomto zjištění se pokoušel provádět filtraci jednotlivých vlnových délek světla a přišel na to, že ultrafialová složka podporuje vznik sekundární jiskry nejvíce. Toto bylo dáno materiálem, z jakého byly vyrobeny komponenty zařízení. Každá látka v rámci fotoelektrického jevu reaguje na dopadající světlo jinou intenzitou. Dále se však tímto jevem nezabýval. Fotoelektrický jev byl tedy znám již v 19. století. K jeho teoretickému vysvětlení došlo na počátku 20. století. Fotoelektrický jev patří k základním důkazům kvantové povahy elektromagnetického záření. Jev nastává při vzájemné interakci elektromagnetického záření a látky (hlavně vodiče a polovodiče). Záření dopadající na látku předává elektronům v látce svou energii. Podle podstaty jevu rozlišujeme fotoelektrický jev vnější a vnitřní. Vnější fotoelektrický jev se projevuje u kovů. Působením elektromagnetického záření na kov dochází k předávání energie elektronům. Pokud je energie záření dostatečná, dojde k uvolnění elektronu z valenční vrstvy atomu. Elektron je emitován – emise elektronů. Vnitřní fotoelektrický jev se projevuje u polovodičů. Působením elektromagnetického záření dochází ke generování párů elektron-díra a tím se zvyšuje vodivost látky.

Fotoelektrický jev se řídí těmito zákony:

Pro každý materiál existuje jistá mezní frekvence f_0 , při níž se uvolňují elektrony. Pokud je frekvence záření f menší než mezní frekvence f_0 , pak fotoelektrický jev nenastává. Množství emitovaných elektronů je úměrné intenzitě dopadajícího záření. Energie emitovaných elektronů je přímo úměrná frekvenci záření a nezávislá na jeho intenzitě.

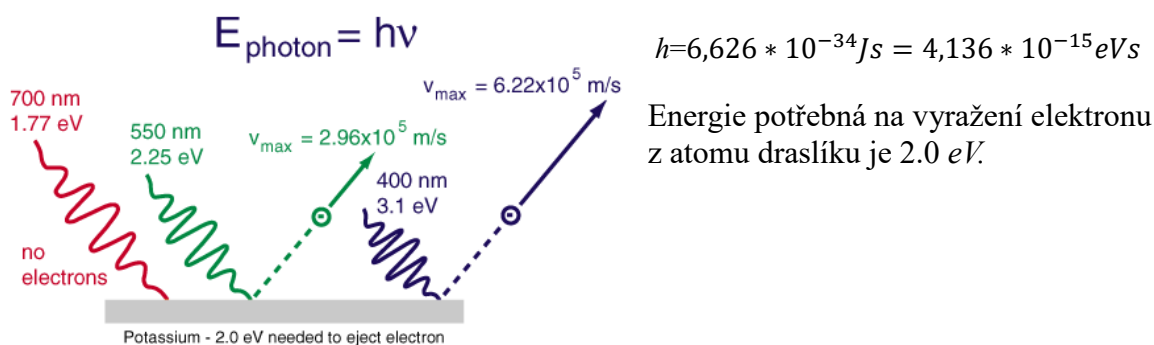
Pomocí klasické fyziky nelze zcela přesně vysvětlit závislost na frekvenci a nezávislost energie emitovaných elektronů na intenzitě dopadajícího záření. Až za přispění Planckovy kvantové teorie Albert Einstein v roce 1905 dokázal uspokojivě vysvětlit dané závislosti.

Einsteinova rovnice fotoelektrického jevu:

$$h \frac{c}{\lambda} = W + \frac{1}{2} m_e v^2 \quad (3.1)$$

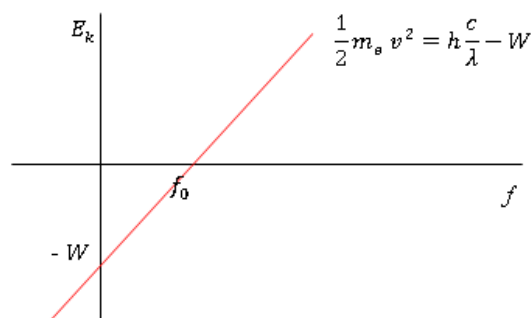
kde	h	je Planckova konstanta $6,62 * 10^{-34}$ [Js]
	c	je rychlost světla ve vakuu $3 * 10^8$ [$\frac{m}{s}$]
	λ	je vlnová délka záření [m]
	W	je výstupní práce potřebná pro emitaci elektronu [J]
	m_e	je hmotnost elektronu $9,12 * 10^{-31}$ [kg]
	v	je rychlost elektronu [$\frac{m}{s}$]

Z rovnice plyne, že pro emisi elektronu je nutné dodat energii W . Tato energie je pro každý materiál různá. Nazývá se výstupní práce. Protože tuto energii dodává elektromagnetické záření a energie elektromagnetického záření je dána jeho frekvencí (vlnovou délkou), nazývá se též prahová frekvence. [3] [2]



Obrázek 2: Závislost kinetické energie elektronu na energii dopadajícího fotonu. [15]

Maximální energie vyražených elektronů je dána vztahem $E_{\text{max}} = h\nu - h\nu_0$, kde ν_0 je prahová frekvence záření (v kvantové fyzice se ν značí frekvence) potřebná pro vyražení elektronu.



Obrázek 3: Závislost E_k elektronu na frekvenci dopadajícího fotonu.

Fotoelektrický jev se používá v mnoha technických aplikacích. Elektronické součástky využívající fotoelektrický jev jsou fotodiody, fototranzistory, fotonky. Tyto součástky se využívají v zařízeních jako světelná čidla, optické závory, oddělovací členy, optické senzory pro měřicí přístroje, expozimetry, optočleny v optických datových sítích, CCD čipy v kamerách a fotoaparátech. A v neposlední řadě jsou fotodiody využity ve fotovoltaických panelech na výrobu elektrické energie.

3.2 Fotovoltaické panely

Fotovoltaický panel slouží k přímé přeměně slunečního záření na využitelnou elektrickou energii. Z pohledu elektroniky se jedná o diodu, polovodičový přechod PN, která využívá ke své funkci vnitřního fotoelektrického jevu. Konstrukčně je vyrobena tak, aby odolala vnějším vlivům a aby dopadající elektromagnetické záření bylo v maximální míře využito pro fotoelektrický jev.

Fotovoltaické panely lze rozdělit podle technologie výroby:

Technologie tlustých vrstev

Panely jsou vyrobeny z plátů monokrystalického nebo polykrystalického křemíku. Vše je uzavřeno v pevné konstrukci. Touto technologií je v současné době vyráběno více než 80% všech panelů. Nevýhodou této technologie je vysoká spotřeba materiálu jak na samotné aktivní prvky, tak na konstrukci. Výhodou je dlouhá životnost, vyšší účinnost.

Technologie tenkých vrstev

Je využito pružných materiálů, jako jsou textilie, sklolaminát, na které je napařovací metodou nanášena tenká vrstva amorfního nebo mikrokrytalického křemíku. Výhodou této technologie je nižší spotřeba materiálu. Výsledný výrobek je možné použít jako např. střešní krytinu nebo prvky konstrukcí vozidel. Nevýhodou je nízká účinnost a nízká životnost.

Technologie organických sloučenin

Zcela nový postup, který využívá k realizaci fotoelektrického jevu organické sloučeniny na bázi polymerů místo klasického křemíkového polovodiče. Výroba probíhá tiskovou metodou na podkladní materiály. Tato metoda je velmi perspektivní. Náklady na výrobu jsou velice nízké a výroba je rychlá. Účinnost organického fotovoltaického panelu se pohybuje okolo 4-8%. Nevýhodou je nízká životnost – několik let. Nicméně tento technologický postup je velice slibný.

Fotovoltaické panely lze rozdělit podle typu křemíkového základu:

Amorfni články

Napařování křemíkové vrstvy – nejlevnější, nejnižší účinnost

Polykrystalické články

Krystalizovaný křemík rozdrcen a slisován do ingotu – optimální poměr cena/výkon

Monokrystalické články

Odlitý ucelený ingot – vysoká čistota, nejdražší, nejlepší účinnost.

Nejobvyklejší výrobní technologií v současné době jsou tlusté vrstvy z polykrystalického a monokrystalického křemíku. Jednotlivé články se připravují o rozměrech 156x156 mm. Články jsou zapojeny do sérioparalelní soustavy a tvoří tak jeden panel o rozměrech obvykle 850x1600 mm. Panel vyrobený tímto postupem dosahuje maximálního výkonu 165-325 Wp.

Jednotka Wp „Watt peak“ určuje výkon panelu za ideálních osvitových podmínek. [1]



Obrázek 4: Panely typu YL230P-29b polykrystal, lokace Sunny stream Prachatice.



Obrázek 5: Detail panelu. Sběrné vodiče zastiňují nemalou část aktivní plochy.

4. Zapojení fotovoltaických elektráren

FTV elektrárna je v podstatě každý článek, který produkuje elektřinu, a my ji spotřebováváme. Ale pro účely distribuční soustavy představuje soubor fotovoltaických panelů, který je tak velký, aby jeho výkon byl použitelný pro reálnou „užitečnou“ spotřebu a pro zapojení do distribuční sítě. Takový výkon bývá obvykle větší než 1000 W.

Zapojení elektráren z pohledu DS bývají obvykle:

FTV elektrárna může být začleněna do distribuční soustavy a veškerou vyrobenou energii dodávat do sítě. Pak se jedná o čistý zdroj (obrázek 6). Taková zapojení jsou realizována většinou u elektráren vyšších výkonů, které jsou postaveny na polích nebo továrních komplexech.

Existují zapojení, kdy elektrárna slouží primárně jako vlastní zdroj a do distribuční soustavy předává tzv. přebytky. Jedná se o tzv. částečný zdroj (obrázek 7). Zapojení tohoto typu jsou charakteristická pro zdroje provozované soukromými osobami a jsou většinou umístěna na střechách obytných domů.

Zapojení, která nejsou nijak spojena s distribuční soustavou existují také. Tato zapojení nejsou příliš obvyklá a to z důvodu vysoké pořizovací ceny a absence dotovaného výkupu. Jedná se o tzv. ostrovní zdroj (obrázek 8).

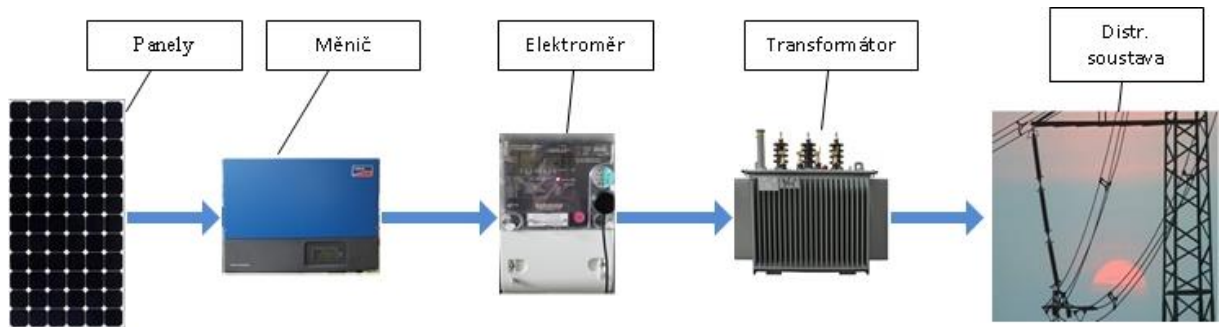
FTV elektrárny dodávají stejnosměrný proud. Pokud elektrárna dodává elektrickou energii do distribuční soustavy v konfiguraci čistého zdroje nebo částečného zdroje, je nutné do konfigurace elektrárny vložit měnič (obrázek 9). Toto zařízení transformuje stejnosměrný proud na střídavý o frekvenci distribuční sítě 50 Hz. Měnič zároveň zajišťuje přifázování k distribuční síti. Pokud je jmenovitý výkon elektrárny vyšší než je schopna přenést lokální distribuční síť na určité napěťové úrovni, je nutné do konfigurace zařadit distribuční transformátor pro převod napětí z hladiny NN (400 V) na VN (22 kV).

Ostrovní provoz může být ponechán na stejnosměrném napětí. Zde záleží na typu a vybavení spotřebičů v daném odběrném místě.

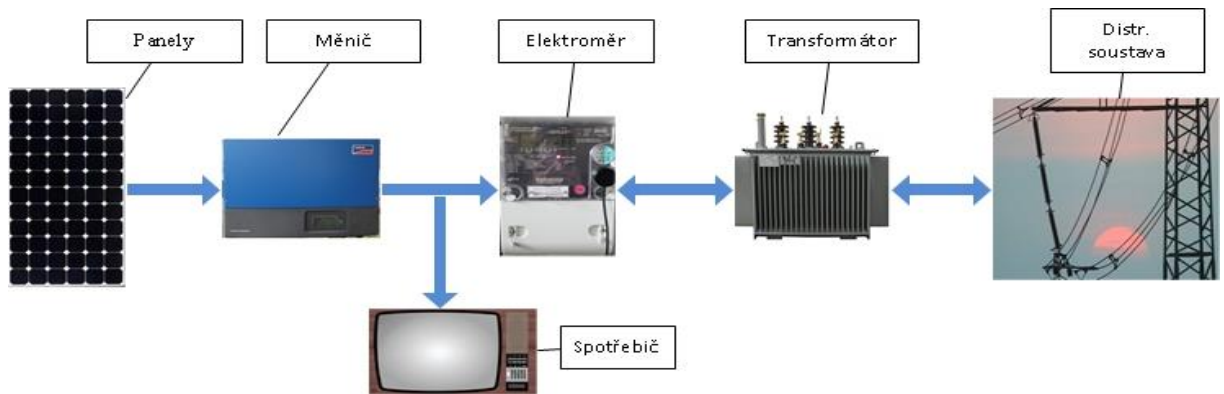
Mechanická instalace fotovoltaických elektráren bývá obvykle dvojího druhu:

Stabilní instalace – Na střechách nebo na volných prostranstvích.

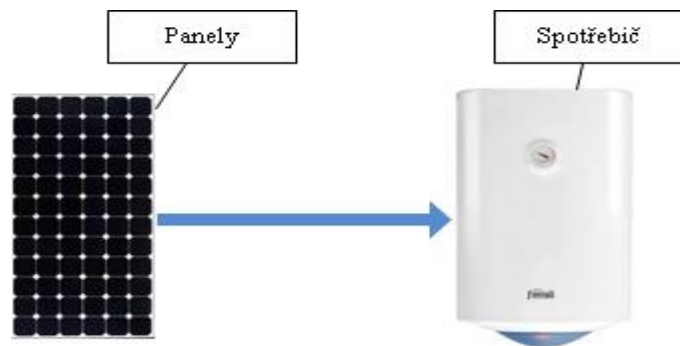
Pohyblivé tzv. trackery nebo „slunečnice“ – Pro maximální využití výkonu dopadajícího záření je potřeba zajistit, aby panel směřoval stále k pozici Slunce. Jednotlivé úhly náklonů jsou závislé na zeměpisných souřadnicích a ročním období. [4]



Obrázek 6: Čistý zdroj dodává všechnu energii do DS.



Obrázek 7: Částečný zdroj dodává přebytečnou energii do DS.



Obrázek 8: Ostrovní provoz.



Obrázek 9: Průmyslový měnič SUNNY TRIPOWER 15000, max. účinnost 98 %.

5. Integrace aplikace do procesu odečtů distribuční společnosti

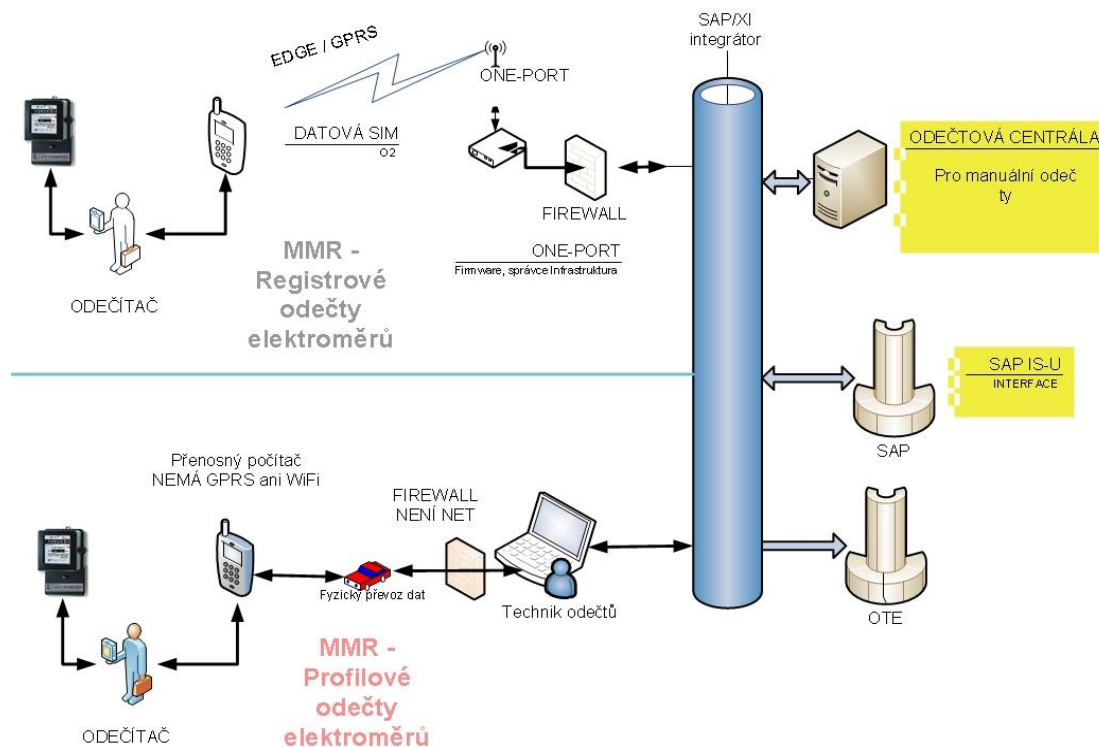
5.1 Reálný procesní model odečtů

Představuje ucelený náhled na funkci společnosti v problematice odečtů. Z procesního modelu jsou patrné vazby mezi jednotlivými informačními systémy, které jsou součástí komplexního firemního systémového vybavení. Pro potřeby zpracování dat pro OTE je nutné provádět u fotovoltaických elektráren podrobné měření dodané energie do distribuční soustavy. Používají se dvě metody měření:

Metoda dálková. Elektroměry jsou odečítány dálkovým měřením, kdy data z elektroměrů jsou odesílána pomocí modemu GPRS nebo GSM do odečtové centrály.

Metoda manuální. Elektroměry jsou odečítány pomocí pracovníka, který je vybaven přenosným počítačem s programem na vyčítání dat z elektroměru. Pracovník dorazí k elektroměru a vyčte data (elektroměr obsahuje optické rozhraní). Přemístí se na pracoviště, kde se nachází interface do odečtové centrály. Přesune data z terminálu do odečtové centrály.

Výše zmíněné odečtové centrály jsou robustní systémy pro kompletní zpracování odečtových dat. Jedná se o třívrstvé architektury, které celkově řeší sběr odečtových dat a přípravu dat pro zákaznický informační systém ZIS a OTE. Distribuční společnosti provozují nejčastěji ZIS SAP/ISU.

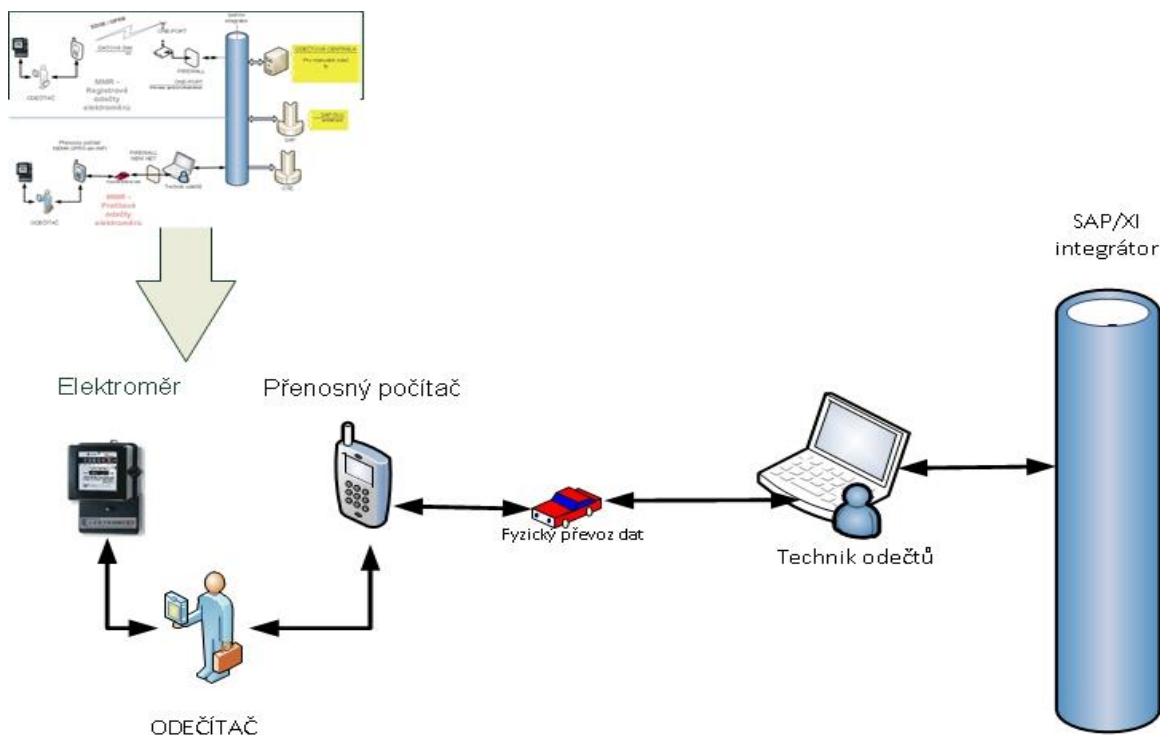


Obrázek 10: Procesní schéma odečtů v distribuční společnosti.

Integraci a interface mezi jednotlivými systémy zajišťuje systém SAP/XI webové služby. Systém SAP/XI také zajišťuje komunikace s OTE. SAP/XI zajišťuje digitální podepisování a šifrování. Tato komunikace probíhá formou webových služeb.

5.2 Rozbor procesu Profilové odečty elektroměrů

Obrázek 10, kde je zvýrazněna část profilového odečtu, znázorňuje rozbor procesního řetězce MMR. V tomto řetězci se nacházejí objekty, které budou svými vlastnostmi a metodami ovlivňovat integraci a řešení aplikace pro nahrazování hodnot (obrázek 11).



Obrázek 11: Rozbor procesu Profilové odečty elektroměrů.

Samotné získání profilového odečtu z profilového elektroměru je provedeno pracovníkem (odečítač), který fyzicky dorazí k elektroměru a napojí k němu přenosný počítač pomocí sériového rozhraní. Přenosný počítač obsahuje software, který je schopen s elektroměrem komunikovat a vyčíst požadovaná data. Následně pracovník převezme přenosný počítač do střediska organizace, kde další pracovník (technik odečtů), uloží data z přenosného počítače do odečtové centrály.

V procesu Profilové odečty elektroměrů vystupují tyto hlavní objekty:

Elektroměr:

Jedná se o průmyslový elektroměr nasazovaný na velká odběrná místa a elektrárny. Elektroměr pro měření výkonu elektrárny je vybaven počítačem a vnitřní pamětí, do které ukládá naměřené hodnoty. Data jsou uložena ve formátu standardu OBIS/EDIS. Elektroměr měří všechny 4 kvadranty plus dva doplňkové:

CO:	činný odběr [kW/15min]
JO:	jalový odběr [kVAR/15min]
CD:	činná dodávka [kW/15min]
JD:	jalová dodávka [kVAR/15min]
JOO:	jalový odběr při činném odběru [kVAR/15min]
JDO:	jalová dodávka při činné dodávce [kVAR/15min]



Obrázek 12: Elektroměr DC4/6Q s přiloženou optickou sondou.

Základní měřenou veličinou je tzv. zátěžový profil (profilová data). Elektroměr každých 15 minut uloží součtová data přeneseného výkonu v daném kvadrantu a zaznamená je do paměti. Pro realizaci zadání je relevantní kvadrant CD – činná dodávka. Odečet tohoto kvadrantu je u fotovoltaické elektrárny primárně požadován OTE. Dále elektroměr zaznamenává deník událostí (log). Deník obsahuje záznamy o všech nestandardních i standardních událostech, které nastaly. Takové události jsou např. odpojení od sítě, výpadek napájení, změna času, selhání watch dog, záznam kumulace atd. Událost je zaznamenána s patřičným kódem a časovou značkou dané čtvrt hodiny [5].

Přenosný počítač:

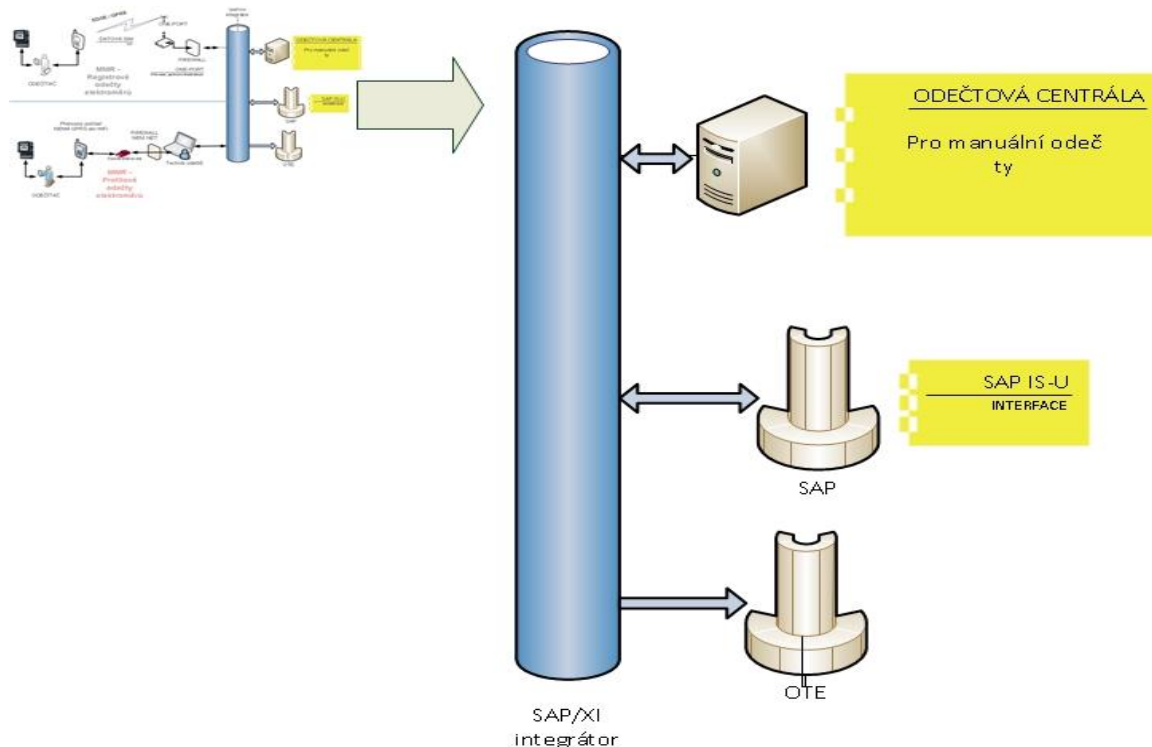
Jedná se o standardní počítač formátu PDA, který obsahuje běžný operační systém např. Microsoft Windows.



Obrázek 13: Přenosný počítač Motorola MC70, používaný pro odečty elektroměrů.

5.3 Rozbor procesu Zpracování odečtů

V této části reálného procesního modelu hrají hlavní roli objekty Odečtová centrála a SAP/ISU.



Obrázek 14: Rozbor procesu Zpracování odečtů.

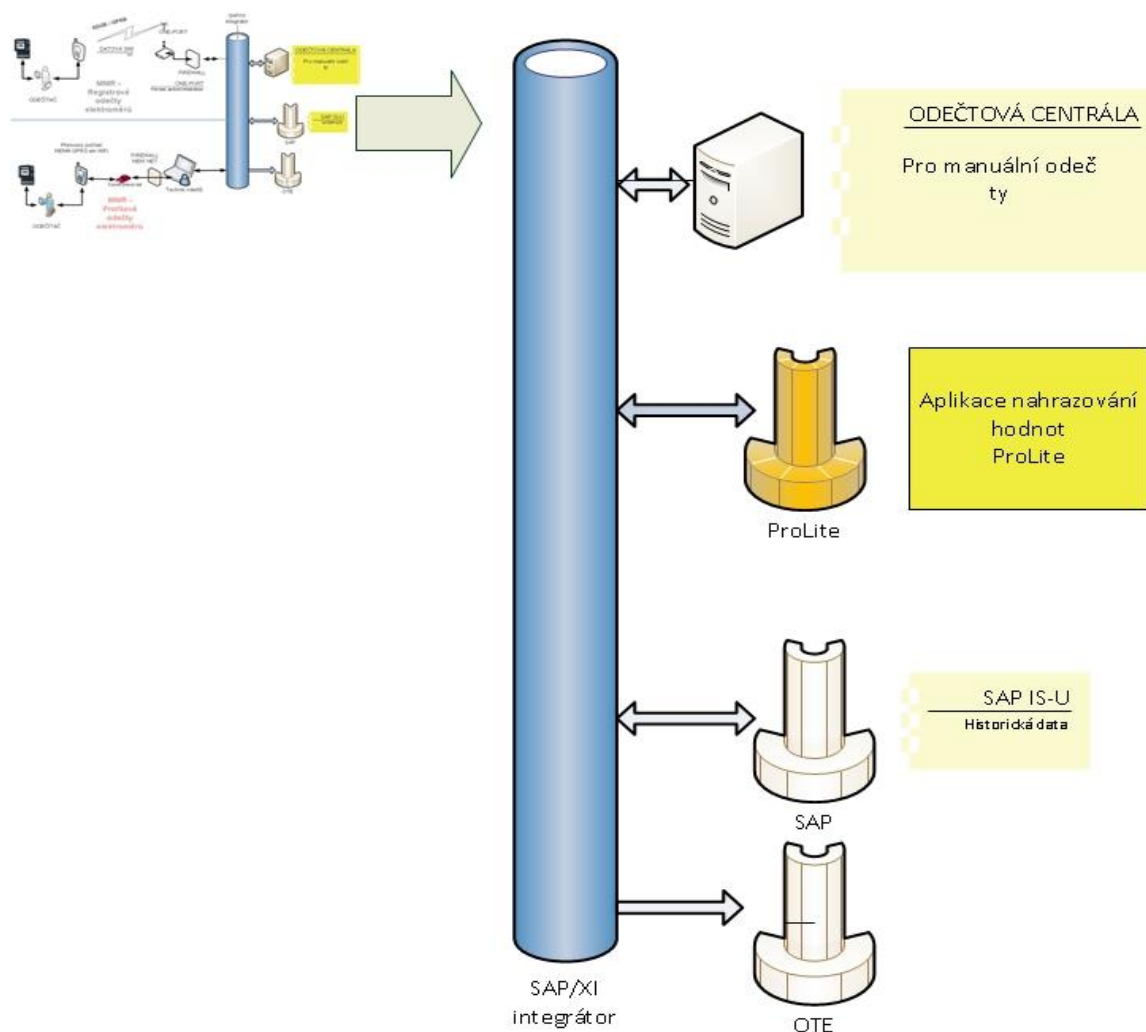
SAP/ISU: Zákaznický informační systém, generuje požadavky na odečty, zpracovává výsledky odečtů z pohledu fakturace. Systém uchovává historická odečtová data. [6]

Odečtová centrála: Zpracovává surová data odečtů, validuje, opravuje, řídí odečítače, organizuje odečty, odečtové požadavky, parametrizuje přenosné počítače. V rámci validace provádí nahrazování chybějících odečtových dat. [7]

SAP/XI integrátor: Systém určený pro integraci/komunikaci podnikových aplikací. Je to univerzální nástroj, který většinou za použití webových služeb zprostředkovává datovou komunikaci mezi jednotlivými aplikacemi. [8]

Jelikož odečtová centrála zahrnuje procesy validací a nahrazování chybějících odečtových dat, bude ideální směřovat integraci aplikace na nahrazování chybějících odečtových dat do systému odečtové centrály. Dále jsou pro aplikaci nahrazování dat klíčová historická odečtová data, která jsou obsažena v SAP/ISU. I tato skutečnost nahrává rozhodnutí integrovat aplikaci do této části. Je zde ale problém v tom, že odečtová centrála je většinou uzavřený objekt, do kterého nelze implementovat nové funkce. Proto jsem se rozhodl

integraci zajistit formou webové služby, pro kterou bude ideálně využitý integrátor SAP/XI. Na následujícím obrázku vidíme integraci aplikace pro nahrazování chybějících odečtových dat.



Obrázek 15: Znáornění integrace aplikace "ProLite".

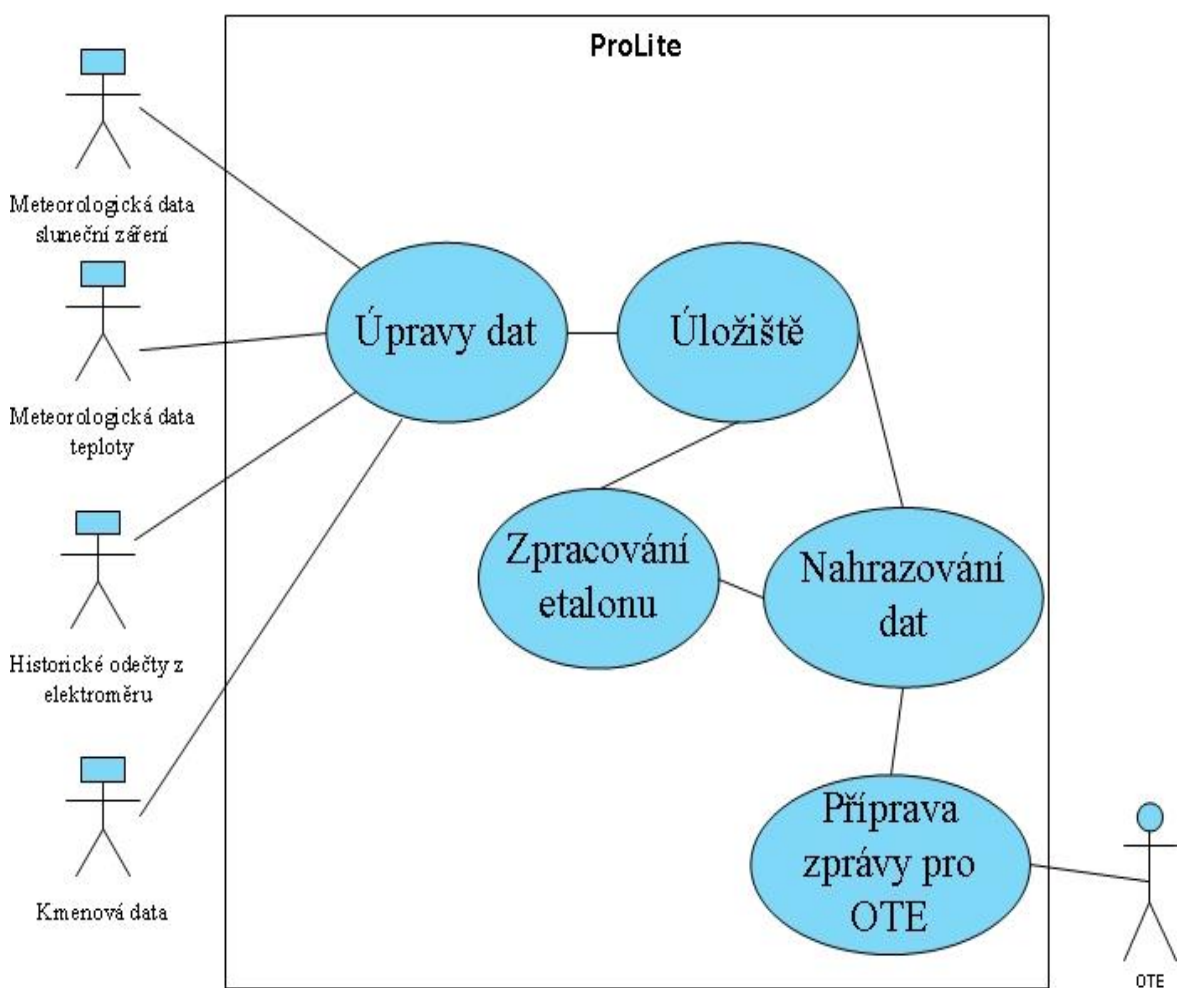
Aplikace bude umístěna do procesu Zpracování odečtů a její integrace bude zajištěna systémem SAP/XI, technicky formou webových služeb. Aplikaci jsem nazval **ProLite**.

6. Analýza aplikace ProLite

6.1 Use case model aplikace ProLite

Jak jsem již naznačil v úvodu, řešení zadaného problému potřebuje vstupy, které jsou vstupními veličinami do navrhovaného nahrazovacího algoritmu. Tyto vstupy jsou uloženy na různých místech a mají různé formáty. Dále je z těchto vstupů nutné vyrobit etalon a připravit metody nahrazení, které s ním budou pracovat. Nahrazená data je nutné převést do formátu OTE. Vše musí být koncipováno tak, aby nenastal problém s integrací do stávajících odečtových systémů.

Use case model představuje nejvyšší úroveň náhledu na popisovanou aktivitu.



Obrázek 16: Use case model aplikace ProLite.

Na UML diagramu vidíme čtyři aktéry, kteří v tomto případě představují vstupní data:

Meteo data – solární záření:

historická data o intenzitě solárního záření v místě instalace fotovoltaické elektrárny

Meteo data – teplota:

historická data o teplotách v místě fotovoltaické elektrárny

Odečtená data z elektroměru:

historická data odečtená z elektroměru. Aktér OTE zde vystupuje pouze jako konzument výsledku celého řešení

Kmenová data

stavové informace o fotovoltaické elektrárně a meteorologické stanici

Hlavní činnosti:

Úpravy dat:

zdroje vstupních dat jsou různé a poskytují data v různých formátech a to nejen typových, ale i jinak časově závislých. Úkolem této činnosti je provést sjednocení formátu vstupních dat. Vstupní data mohou obsahovat chyby (např. meteorologická data obsahovala chyby, na které jsem přišel během analýzy dat). V činnosti Úpravy dat jsou chyby odstraněny.

Úložiště:

databáze s daty pro aplikaci

Zpracování etalonu:

činnost, která připraví etalon pro konkrétní fotovoltaickou elektrárnu

Nahrazení dat:

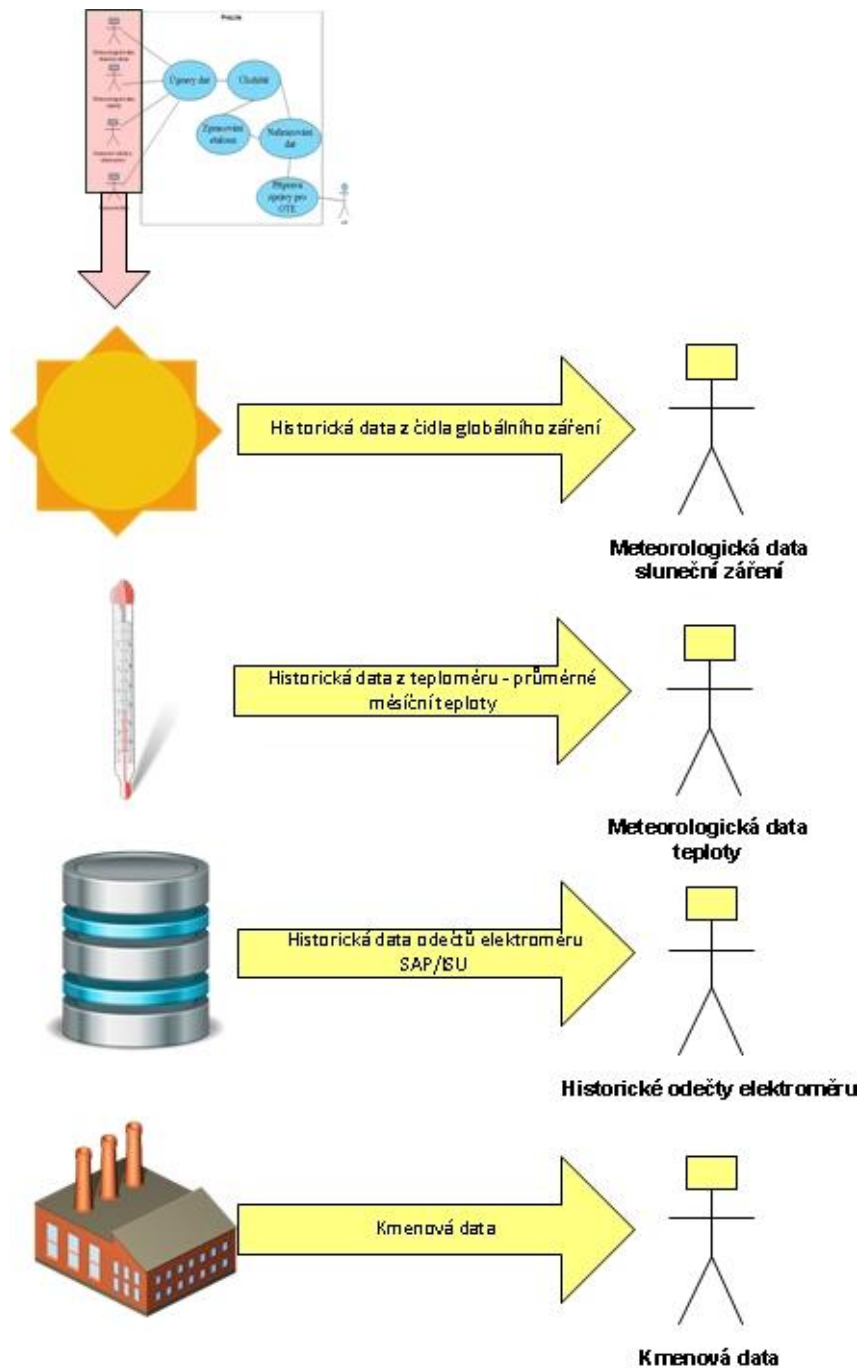
činnost, která aplikuje nahrazovací algoritmus chybějících odečtových dat

Příprava zprávy pro OTE:

tvorba formátu zprávy dle předpisů OTE

6.1.1 Funkční dekompozice aktérů – vstupní data

Zde uvedu, jakým způsobem jsou jednotlivá data získávána.



Obrázek 17: Vstupní data.

Na obrázku 17 je znázorněn původ jednotlivých vstupních dat. Data o teplotách a slunečním záření jsou získána z meteorologické stanice, která se nachází v co nejmenší vzdálenosti od fotovoltaické elektrárny. To je základní podmínka. Historická odečtená data

z elektroměru fotovoltaické elektrárny jsou získána z databáze systému SAP/ISU distribuční společnosti. Kmenová data by měla být také v databázi systému SAP/ISU.

6.1.1.1 Meteorologická data – sluneční záření

Data ze solárního čidla slouží jako základní vstup do nahrazovacího algoritmu.

V ideálním případě by mělo solární čidlo být umístěno v těsné blízkosti fotovoltaické elektrárny, aby byl záznam výkonu elektrárny maximálně shodný s osvitem panelů. Z prováděných experimentů jsem zjistil nezanedbatelné vlivy lokální nízké oblačnosti, rostoucí vegetace, teploty, sněhové pokrývky, které jsou i přes relativní blízkost meteorologické stanice od elektrárny znatelné.

Přesné lokace

stanice: 48°47'5.365"N, 13°56'11.426"E alt:760

elektrárny: 48°47'36.675"N,13°56'40.423"E alt:730

Stručné informace o solárním čidle:

Jedná se o senzor globálního solárního záření. To znamená, že měří i rozptyl světla v atmosféře. Křemíková fotodioda je kalibrována tak, aby pokryla spektrum AM1,5.

Zde bychom mohlo dojít k rozporu měřených složek záření. Difúzní záření není solární panel schopen zpracovat tak efektivně jako přímé. Zásadní problém je v rozdělení globálního záření na přímou a difúzní složku ve správném poměru. Dále je nutné oddělit i reflexní složku. V činnosti úpravy dat pro nahrazovací proces a tvorbu etalonu budu globální záření dělit na jednotlivé složky a počítat energii podle dopadového úhlu. Nahrazování bude následně vycházet s účinností na jednotlivé složky v závislosti na denní době.

Měřené hodnoty:

SOLAR RAD – výkon globálního záření na 1m^2 [W/m^2], měření a záznam probíhá každých 50 sekund

HI SOLAR RAD - max. v dané minutě

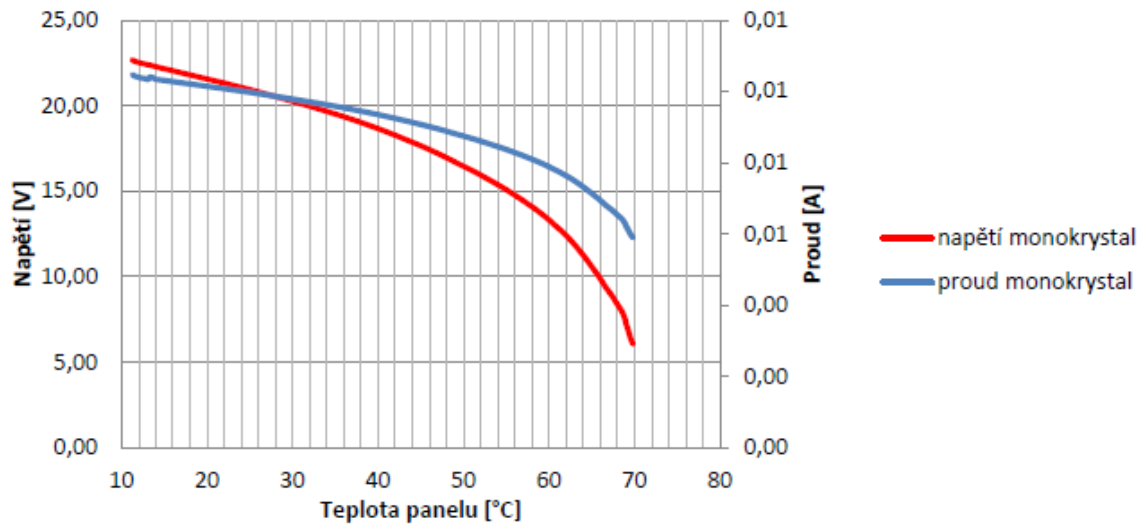
SOLAR ENERGIE - kolik energie bylo získáno za 1min [9]



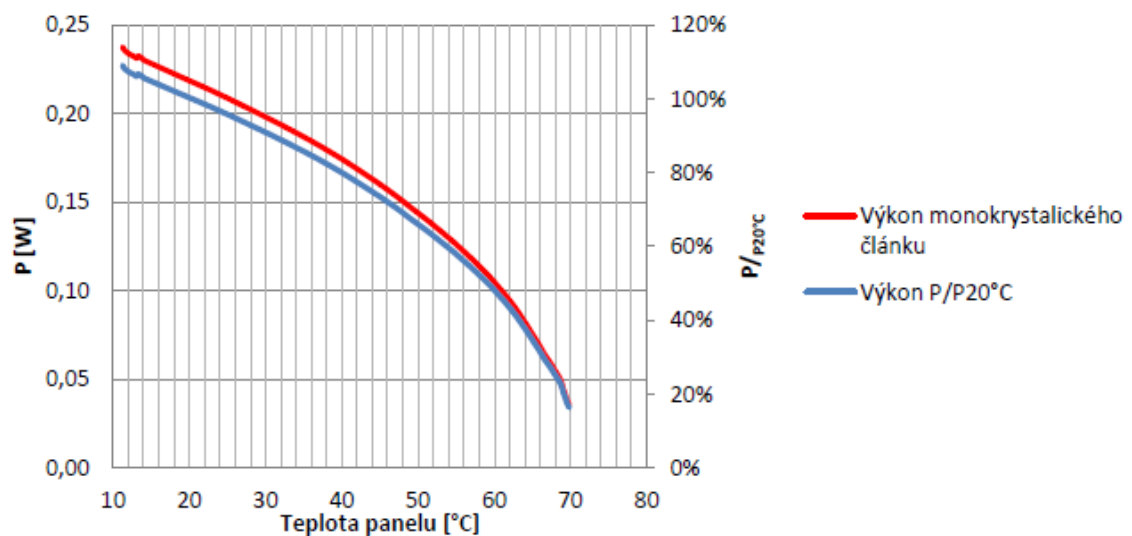
Obrázek 18: Aplikované solární čidlo, jeho umístění na stožáru.

6.1.1.2 Meteorologická data - teplota

Efektivita transformace energie fotovoltaického panelu je velmi závislá na teplotě. Tato závislost se pohybuje v řádech desítek procent poklesu účinnosti přeměny energie. Proto je nutné do procesu zpracování dat pro nahrazovací proces zahrnout teplotní údaje. Pro zpracování použijí data o průměrných měsíčních teplotách za daný rok.



Obrázek 19: V/A charakteristika monokrystalického panelu v závislosti na teplotě. [10]



Obrázek 20: Poměrný výkon vztažený k teplotě 20°C. [10]

Grafy na obrázcích znázorňují závislost elektrických vlastností fotovoltaického panelu na teplotě. S teplotními daty souvisí i data o proudění vzduchu. [10] Do simulačních výpočtů by bylo dobré též zahrnout ochlazovací faktor panelů a teplotní setrvačnost. Tato data však nemám k dispozici. Použitá teplotní data jsou měsíční průměrné teploty vypočítané z hodnot naměřených v 07:00, 14:00, 2 x 21:00 hodin.

6.1.1.3 Historické odečty elektroměru

Historické odečty elektroměru fotovoltaické elektrárny obsahují naměřené hodnoty profilových odečtů fotovoltaické elektrárny za období od počátku instalace. Data jsou uložena v databázi systému SAP/ISU distribuční společnosti. Charakter a formát dat je určen energetickou vyhláškou. [5]

6.1.1.4 Kmenová data

Kmenová data jsou taková, která nejsou pohybová a popisují vlastnosti objektu, které se nemění v čase. V případě mého zadání se jedná o parametry fotovoltaické elektrárny. Tato data nejsou v současné době evidována v databázi distribuční společnosti. Data jsem si musel zajistit měřením v terénu:

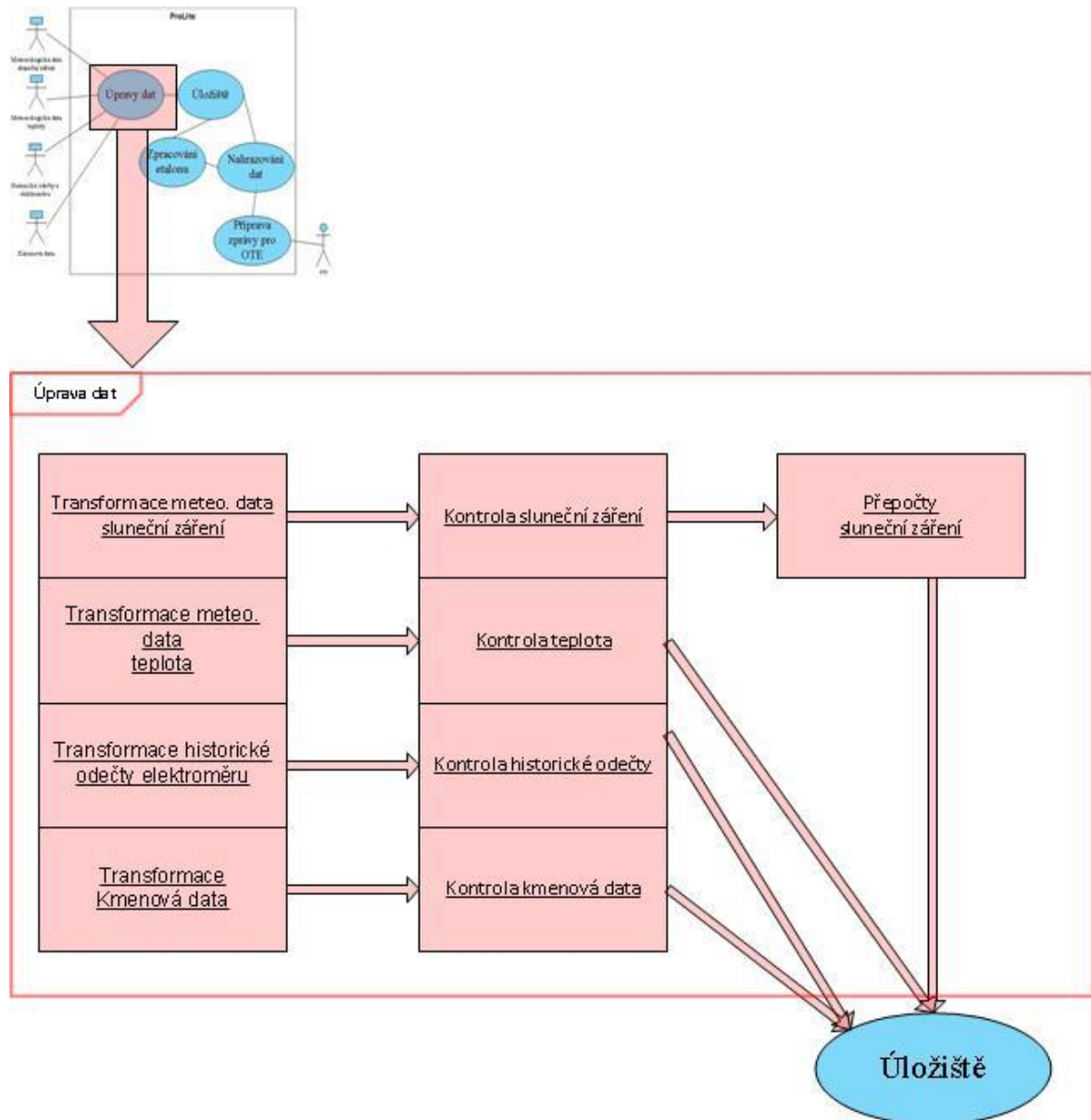
Zeměpisná šířka
Zeměpisná délka
Azimutální odklon od severu
Deklinace panelu od vodorovné plochy
Nadmořská výška
Solární konstanta pro dané místo
Albedo - odrazivost povrchu, dle charakteru lokality
Účinnost měniče
Plocha panelů
Účinnost panelu na přímé záření
Instalovaný výkon
Měrná tepelná kapacita fotovoltaického panelu
Normálová teplota

Většinu údajů jsem zjistil na místě fotovoltaické elektrárny pomocí GPS přijímače. Informace o panelech jsou zjistitelné z technických listů. Instalovaný výkon je uveden (jako jediný) v databázi distribuční společnosti. Informaci o měniči je možné získat z technického listu.

Zde je patrné, že databáze distribuční společnosti není kompletně vybavena potřebnými daty pro navrhované procesy nahrazování dat. Bylo by dobré zajistit sběrovou kampaň a tato data zajistit pro všechny výrobní zapojené do distribuční soustavy. Tento krok je nepostradatelný v případě zavedení Smart Grids s většinovým podílem alternativních zdrojů energie.

6.1.2 Funkční dekompozice činnosti – Úpravy dat

V této činnosti musím provést transformaci jednotlivých vstupních dat, aby byla stejného formátu a mohl jsem je dále používat jednotným způsobem. Pro samotný proces nahrazování chybějících hodnot a tvorbu etalonu je nutné přepočítat vstupní meteorologická data – sluneční záření, jak jsem již naznačil v kapitole 6.1.1.1. Dále jsem zjistil, že vstupní data obsahují chyby. Chyby jsou typu chybějících hodnot a vadného formátu. Následující schéma zobrazuje funkční model činnosti Úpravy dat.



Obrázek 21: Procesy v činnosti úpravy dat.

6.1.2.1 Transformace meteo data sluneční záření

Data ze solárního čidla jsou uložena v textovém souboru. Jednotlivé hodnoty jsou odděleny speciálním znakem. Tento formát se nazývá CSV. Obsah textového souboru jsem převedl do databázové tabulky formátu Microsoft Visual FoxPro 9.0. [11]

6.1.2.2 Transformace meteo data teplota

Data z teploměru jsou uložena v textovém souboru. Jednotlivé hodnoty jsou odděleny speciálním znakem. Tento formát se nazývá CSV. Obsah textového souboru jsem převedl do databázové tabulky formátu Microsoft Visual FoxPro 9.0. [11]

6.1.2.3 Transformace historické odečty elektroměru

Historická data z elektroměru jsou uložena v textovém souboru. Jednotlivé hodnoty jsou odděleny speciálním znakem. Tento formát se nazývá CSV. Obsah textového souboru jsem převedl do databázové tabulky formátu Microsoft Visual FoxPro 9.0. [11]

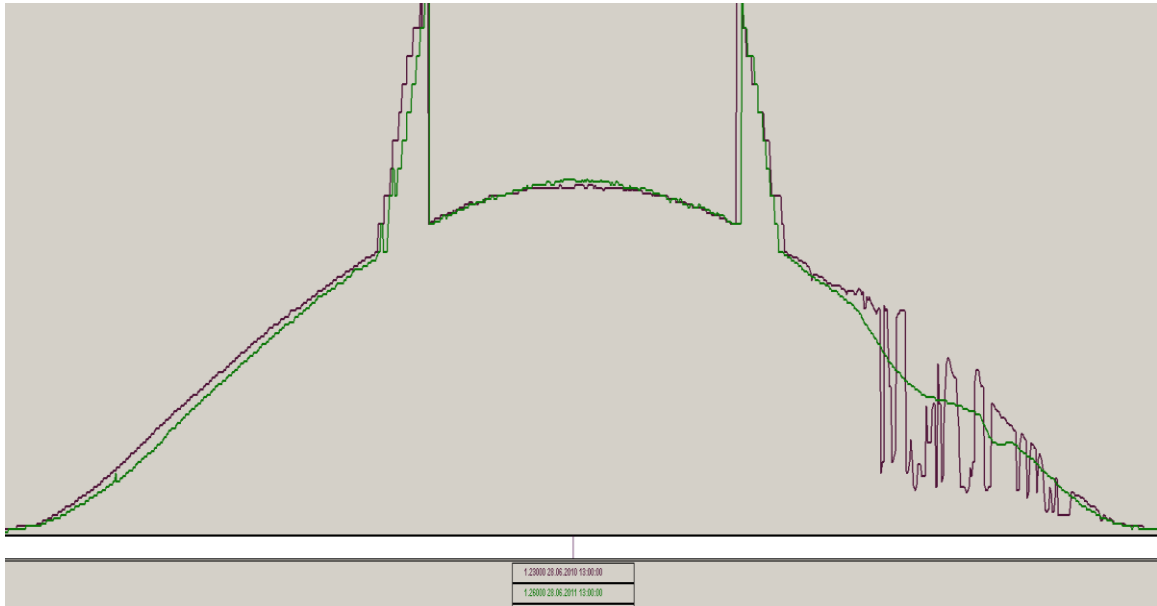
6.1.2.4 Transformace kmenová data

Kmenová data jsou ručně zadána přímo do vytvořené tabulky v datovém úložišti. Tato tabulka je uživatelsky přístupná v aplikaci ProLite. Tabulka je ve formátu Microsoft Visual FoxPro 9.0. [11]

6.1.2.5 Kontrola sluneční záření

Tento proces jsem zařadil do aplikace poté, co jsem si pomocí programu na grafické zobrazování dat, který jsem v rámci mé práce vytvořil, zobrazil data v grafu. Graficky jsem si zobrazoval jednotlivá roční období, abych získal ucelenou představu o charakteru slunečního záření v dané lokalitě.

Některé grafy vyznačovaly podezřele symetrické anomálie. Na následujícím obrázku je nejzajímavější anomálie, jakou jsem objevil. Tuto anomálii jsem nazval „Kočí hlava“.



Obrázek 22: Anomálie v solárních datech tzv. Kočí hlava.

Po podrobné analýze dat jsem zjistil, že byl problém v umístění desetinné čárky v hodnotě výkonu záření v okamžiku, kdy se čárka měla posunout zleva doprava a zpět. Z obrázku je zřejmé, že anomálie se opakovala ve stejné dny v jednotlivých rocích.

Po tomto zjištění jsem do zpracování zařadil kontrolní proces, který odhaluje podobné anomálie a odstraňuje je automaticky.

Tabulka 1: Chyby, které proces kontroluje a odstraňuje.

Chyba	Důvod chyby	Způsob odstranění
Desetinná čárka	Vadný záznam v dataloggeru	Skok o řád není možný, úprava řetězce čísla, posun tečky na správné místo.
Chybějící minuta	Výpadek stanice	Nahrazení předchozí hodnotou

V datech, která mám k dispozici, jsem našel 240 chybějících minut. Vzhledem k tomu, že kompletní sada je za období 2008-2014, jde o zanedbatelnou hodnotu.

6.1.2.6 Kontrola teplota

Vzhledem k tomu, že tabulka teplot obsahuje 84 záznamů, nevyplatilo se provádět automatickou validaci. Tento proces představuje uživatelský náhled na data s možností ruční opravy. Během kontroly jsem provedl srovnání teplotních dat s hodnotami, které jsou k dispozici na webových stránkách Hydrometeorologického úřadu.

6.1.2.7 Kontrola historické odečty

Tato data pocházejí z databáze systému distribuční společnosti. Zde bych teoreticky měl mít záruku bezchybovosti. Nicméně jsem do zpracování zařadil proces na kontrolu chybějících čtvrt hodin. Kontrola nenalezla chybu.

6.1.2.8 Kontrola kmenová data

Kmenová data jsem si zajistil vlastním sběrem. Kontrola by měla být implementována formou validačních metod na ovládacích prvcích uživatelské obrazovky aplikace, kde dochází k zápisu hodnot. Tyto metody jsem neimplementoval, protože v aplikaci ProLite jde o dočasný vstup těchto hodnot. Po integraci ProLite do systému distribuční společnosti by tyto hodnoty měly být čerpány z databáze tohoto systému, kde musí být i validační metody.

6.1.2.9 Přepočty sluneční záření

Pro maximální přiblížení k reálným hodnotám, které vychází z měření elektrické energie na elektroměru, je nutné globální záření rozdělit na jednotlivé složky (přímé záření, difúzní záření, reflexní záření).

Toto rozdělení je nutné z důvodu, že fotovoltaický panel má na každou složku jinou účinnost přeměny. Při tvorbě etalonu musím pro každou složku určit tuto účinnost pro každou čtvrt hodinu v roce. Pro rozdělení globálního záření je hlavním parametrem dopadový úhel na solární panel. K jeho určení je nutné znát pozici Slunce na obloze vůči pozici fotovoltaických panelů elektrárny. Dále je nutné určit teplotní koeficient snížení účinnosti. Následující tabulka obsahuje všechny operace, které se provádějí v procesu Přepočty sluneční záření.

Tabulka 2: Seznam operací v procesu Přepočty sluneční záření.

Číslo operace	Operace	Vstup	Výstup
1	Výpočet solární pozice	Lokální čas, GPS souřadnice místa	Sluneční čas [hh:mm:ss]
2	Výpočet dopadového úhlu	Sluneční čas	Úhel dopadu záření na fotovoltaický panel elektrárny [°]
3	Rozdělení globálního záření	Dopadový úhel, solární konstanta, hodnota záření z dat solárního záření, albedo	Hodnota přímé záření, hodnota difúzní záření, hodnota reflexní záření [W]
4	Teplotní závislost	Data teplot, měrná tepelná kapacita fotovoltaických panelů, normálová teplota	Teplotní koeficient [%]

6.1.2.9.1 Výpočet solární pozice

Pro výpočet solární pozice proces využívá algoritmu DIN, 1985, který je programově zpracován v operaci Výpočet solární pozice.

Relativně jednoduchý algoritmus DIN, 1985 je popisován takto: [12]

$$\text{Denní úhel: } \vartheta = 360^\circ * \frac{\text{den v roce}}{\text{počet dnů v roce}} \quad (6.1)$$

Následuje solární deklinace:

$$\delta(\vartheta) = \{0,3948 - 23,2559 * \cos(\vartheta + 9,1^\circ) - 0,3915 * \cos(2 * \vartheta + 5,4^\circ) - 0,1764 * \cos(3 * \vartheta + 26,0^\circ)\}^\circ \quad (6.2)$$

Rovnice času eqt:

$$\text{eqt}(\vartheta) = [0,0066 + 7,3525 * \cos(\vartheta + 85,9^\circ) + 9,9359 * \cos(2 * \vartheta + 108,9^\circ) + 0,3387 * \cos(3 * \vartheta + 105,2^\circ)] \text{min} \quad (6.3)$$

Dále se počítá s lokálním časem (časem na nultém poledníku v Greenwichi GMT=0), centrálním evropským časem CET= 1h a zeměpisnou délkou λ , hlavní lokální čas MLT sr vyjádří:

$$\text{MLT} = \text{lokální čas} - \text{časové pásmo} + \frac{4\lambda}{60} \quad (6.4)$$

Dosažením rovnice eqt času se obdrží výraz pro solární čas:

$$\text{Solární čas} = \text{MLT} * \frac{\text{eqt}}{60} \quad (6.5)$$

Se zeměpisnou šířkou φ daného místa a hodinovým úhlem ω :

$$\omega = (12:00\text{h} - \text{solární čas}) * 15^\circ/\text{h} \quad (6.6)$$

dostaneme hledané úhly Slunce nad obzorem γ_s , solární azimut α_s :

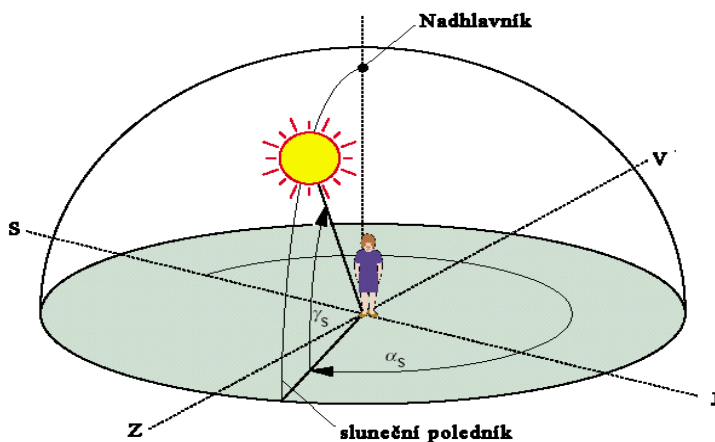
$$\gamma_s = \arcsin(\cos\omega * \cos\varphi * \cos\delta + \sin\varphi * \sin\delta) \quad (6.7)$$

azimut pro solární čas $\leq 12:00\text{h}$

$$\alpha_s = 180^\circ - \arccos \frac{(\sin\gamma_s * \sin\varphi - \sin\delta)}{\cos\gamma_s * \cos\varphi} \quad (6.8)$$

azimut pro solární čas $\geq 12:00\text{h}$

$$\alpha_s = 180^\circ + \arccos \frac{(\sin\gamma_s * \sin\varphi - \sin\delta)}{\cos\gamma_s * \cos\varphi} \quad (6.9)$$



Obrázek 23: Definice úhlů pozice Slunce. [12]

6.1.2.9.2 Výpočet dopadového úhlu

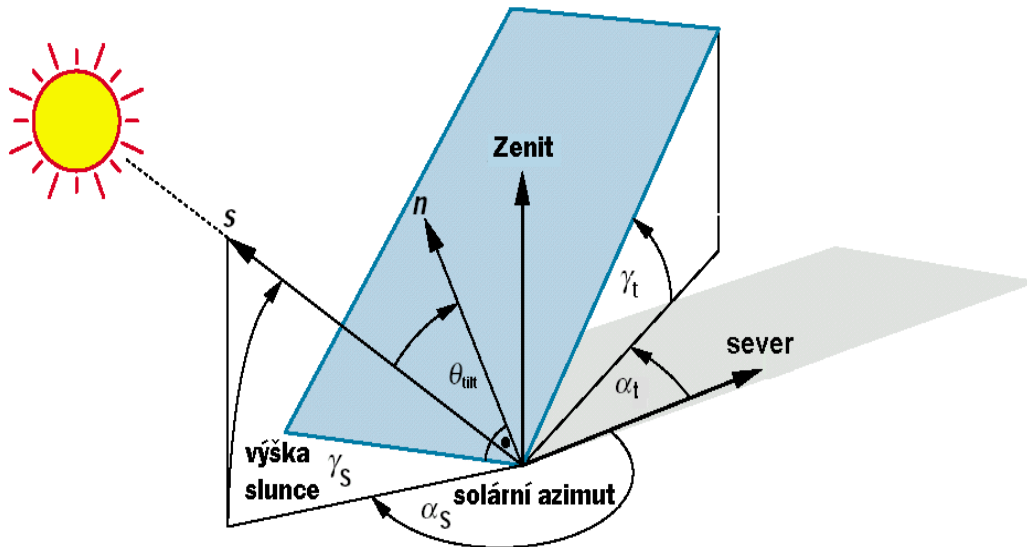
Operace Výpočet dopadového úhlu provádí výpočet, pod jakým úhlem dopadá přímé sluneční záření na fotovoltaický panel. Dopadový úhel definuje efektivitu využití přímého slunečního záření na elektrickou energii. Je to základní parametr, který určuje poměr mezi celkovou energií přímého záření ze Slunce dopadající na vodorovný povrch k záření dopadajícímu na nakloněný panel. [12]

Výpočet dopadového úhlu je definován následující sadou rovnic, které jsem programově zpracoval do dané operace:

$$s = (\cos\alpha_s * \cos\gamma_s, -\sin\alpha_s * \cos\gamma_s, \sin\gamma_s)^T \quad (6.10)$$

$$n = (-\cos\alpha_t * \sin\gamma_t, \sin\alpha_t + \sin\gamma_t, \cos\gamma_t)^T \quad (6.11)$$

$$\theta_{tilt} = \arccos(s * n) = \arccos(-\cos\alpha_s * \cos\gamma_s * \cos\alpha_t * \sin\gamma_t - \sin\alpha_s * \cos\gamma_s * \sin\alpha_t * \sin\gamma_t + \cos\gamma_s * \cos\gamma_t) = \arccos(-\cos\gamma_s * \sin\gamma_t * \cos(\alpha_s - \alpha_t) + \sin\gamma_s * \cos\gamma_t) \quad (6.12)$$



Obrázek 24: Grafické znázornění výpočtu dopadového úhlu. [12]

6.1.2.9.3 Rozdělení globálního záření

Operaci Rozdělení globálního záření jsem programově zpracoval podle následujících algoritmů.

Sluneční záření se při průchodu atmosférou odráží nebo rozptyluje. Proto se světlo dopadající na zemský povrch skládá z přímého a difúzního záření. Na nakloněnou plochu dopadá ještě reflexní záření. Na horizontální zemský povrch dopadá globální sluneční záření $E_{G,hor}$ a to je složené z přímého $E_{dir,hor}$ a difúzního $E_{diff,hor}$: [1]

$$E_{G,hor} = E_{dir,hor} + E_{diff,hor} \quad (6.13)$$

Solární čidlo měří jen globální celkové záření. Pro výpočet energie dodané fotovoltaickou elektrárnou potřebujeme záření rozdělit na jednotlivé složky. Statistickými metodami byly nalezeny empirické funkce, které definují rozdělení globálního záření na přímé a difúzní. Pomocí hodnot E_0 , $E_{G,hor}$ a γ_s se vypočte koeficient k_t definující obsah difúzní složky v globálním záření, solární konstanta: $E_0 = 1367 \pm 2 \text{ W/m}^2$, $E_{G,hor}$ = hodnota z dat slunečního záření:

$$k_t = \frac{E_{G,hor}}{E_0 \cdot \sin \gamma_s} \quad (6.14)$$

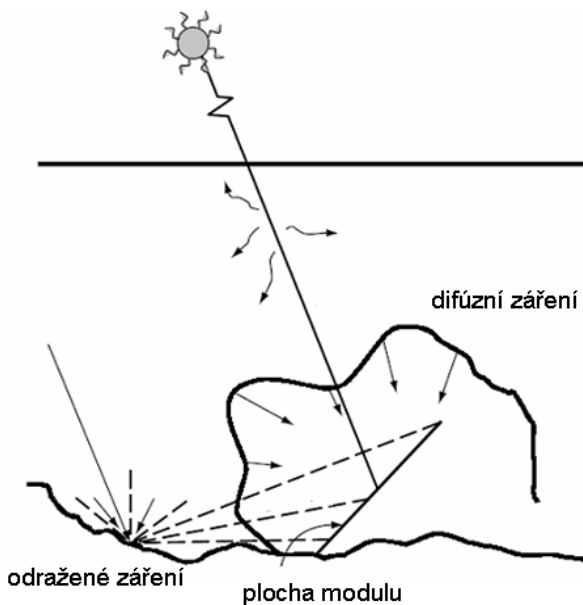
Pro jednotlivé hodnoty koeficientu pak vychází následující empirické funkce:

$$E_{diff,hor} = E_{G,hor} \cdot (1,020 + 0,254 \cdot k_t + 0,0123 \cdot \sin \gamma_s) \text{ pro } k_t \leq 0,3$$

$$E_{diff,hor} = E_{G,hor} \cdot (1,400 - 1,749 \cdot k_t + 0,177 \cdot \sin \gamma_s) \text{ pro } 0,3 < k_t < 0,78$$

$$E_{diff,hor} = E_{G,hor} \cdot (0,486 \cdot k_t - 0,182 \cdot \sin \gamma_s) \text{ pro } k_t > 0,78$$

(6.15)



Obrázek 25: Schéma rozdělení E_0 . [18]

Intenzitu odrazného záření určuje tzv. Albedo A. Pro různé typy povrchů má tento parametr rozdílné hodnoty. Vzhledem k tomu, že hodnota Albeda je velmi závislá na charakteru okolí fotovoltaické elektrárny a roční době (sníh, zelená tráva, uschlá tráva), jsem pro výpočty použil hodnotu 0,25 jako konstantu. Následující tabulka ukazuje možné hodnoty Albeda: [12]

Tabulka 3: Přehled hodnot Albeda. [12]

Povrch	Albedo A	Povrch	Albedo A
tráva(v létě)	0,25	Asfalt	0,15
trávník	0,18-0,23	Lesy	0,05-0,18
suchá tráva	0,28-0,32	vřesoviště a písčité stanoviště	0,15-0,25
neobděláaná pole	0,26	vodní hladina($\gamma_s > 45^\circ$)	0,05
půda	0,17	vodní hladina($\gamma_s > 30^\circ$)	0,08
písek	0,18	vodní hladina($\gamma_s > 20^\circ$)	0,12
navětralý beton	0,20	vodní hladina($\gamma_s > 10^\circ$)	0,22
neporušený beton	0,30	čerstvý sníh	0,80-0,90
neporušený cementový blok	0,55	špinavý sníh	0,45-0,70

Nyní již jsou k dispozici všechny potřebné vstupy do výpočtu rozdělení globálního záření. S použitím úhlu dopadu vypočtu složku přímého záření na nakloněnou plochu. Nejdříve ale musíme z rovnice určit horizontální přímé záření:

$$E_{dir,hor} = E_{G,hor} - E_{Diff,hor} \quad (6.16)$$

Následuje výpočet přímého záření na nakloněnou plochu (panel):

$$E_{Dir,tilt} = E_{Dir,hor} \frac{\cos\theta_{tilt}}{\sin\gamma_s} \quad (6.17)$$

Pro výpočet difúzní složky použijeme koeficient sklonu panelu γ_t a složku difúzního záření na vodorovnou plochu z rovnice (4.16):

$$E_{Diff,tilt} = E_{Diff,hor} * \frac{1}{2} * (1 + \cos\gamma_t) \quad (6.18)$$

Reflexní složku záření na nakloněnou plochu (panel) vyjádříme za pomoci Albeda A, globálního horizontálního záření a úhlu sklonu panelu γ_t :

$$E_{Ref,tilt} = E_{G,hor} * A * \frac{1}{2} * (1 - \cos\gamma_t) \quad (6.19)$$

Tímto postupem je kompletně přepočítaná hodnota záření, která je naměřena na solárním čidle. Zároveň vypočítané hodnoty $E_{Dir,tilt}$, $E_{Diff,tilt}$, $E_{Ref,tilt}$ jsou upraveny dle nastavení pozice solárních panelů fotovoltaické elektrárny.

6.1.2.9.4 Teplotní závislost

Teplotní závislost účinnosti přeměny sluneční energie na elektrickou ve fotovoltaickém panelu je velmi markantní. Obecně se udává hodnota 0.45 % na 1 °C. Během přípravy a experimentování s daty jsem však zjistil, že pro konkrétní fotovoltaickou elektrárnu je velmi obtížné určit vzorec teplotní závislosti, který by pasoval přesně. Tento fakt je způsoben mnoha faktory:

mechanická konstrukce samotného panelu

technologie výroby panelu

typ umístění panelu (volné, na budově, tracker)

typ stavby

typ střešní krytiny

upevňovací prvky

klima místa

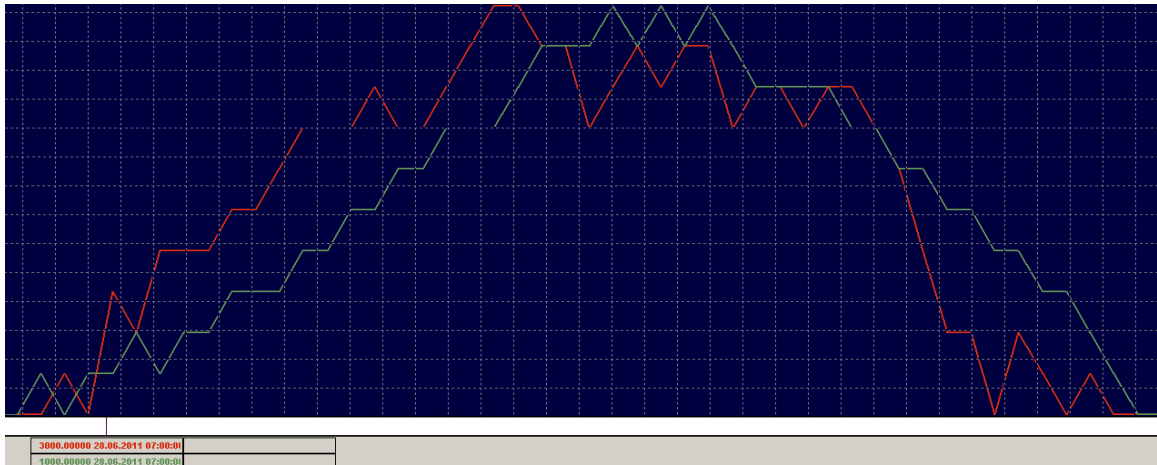
větrné podmínky

Výše uvedené informace nemám k dispozici, a abych měl připravený přesný vzorec pro teplotní charakteristiku dané výroby, bylo by nutné provést velmi důkladná měření na daném místě. Měření by musela být dlouhodobá. Touto problematikou se zabývá mnoho studií, ze kterých jsem čerpal informace pro tvorbu „uspokojivého“ teplotního modelu, který by byl použitelný obecně pro všechny elektrárny a jako vstup by mu stačili dostupné informace.

Nicméně aplikace takového vzorce stále vykazuje nedostatky. Ty se projevují zkreslenou křivkou výkonu elektrárny a to hlavně v dopoledních a odpoledních hodinách. Tento jev je způsoben tím, že model nepočítá s ochlazovacím procesem panelů, prouděním vzduchu, tepelnou setrvačností panelů a přesnou teplotou v okamžiku měření výkonu. Model vychází z průměrné měsíční teploty v dané lokalitě. Tento údaj je však pro náš účel velmi nepřesný, protože v dané lokalitě (a v jiných to bude zase jinak) jsou velké rozdíly teplot mezi nocí a dnem. To může způsobovat, že ranní náběh výkonu je ve skutečnosti strmější než vypočítaný. Ranní teplota v létě bývá kolem 0°C, někdy i pod. Průměrná teplota ale vychází z teplot naměřených ve 07:00, 14:00, 2 x 21:00.

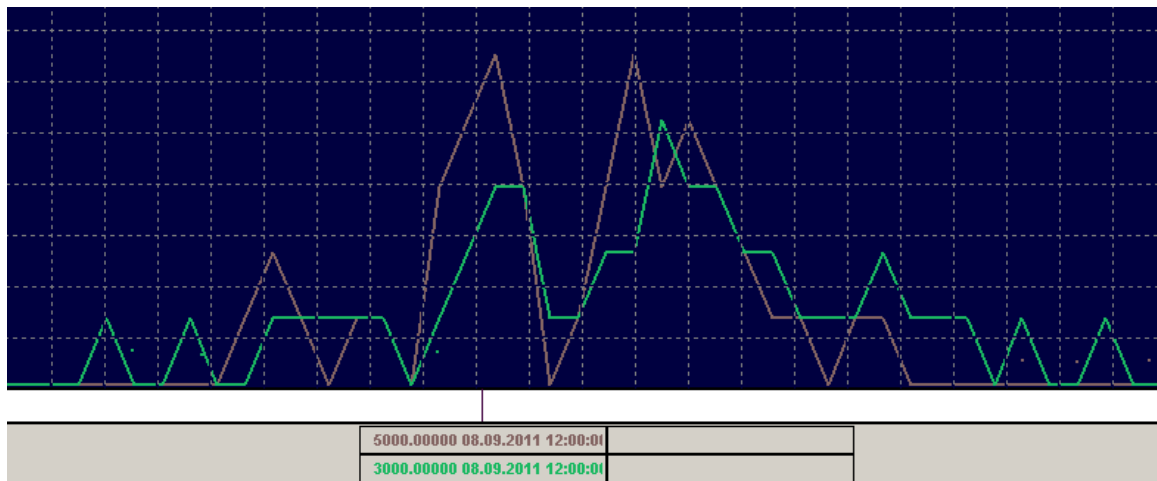
V této oblasti cítím potřebu dalšího důkladnějšího rozboru problému a realizace dlouhodobého komplexního měření na vytypovaných lokalitách.

Na obrázku 26 je zobrazen efekt nedokonalosti použitého teplotního modelu. V dopoledních hodinách, kdy reálná teplota je velmi nízká oproti použité průměrné, je rychlý náběh výkonu elektrárny. Během poledních hodin se výkon vyrovná, avšak také



Obrázek 26: Ukázka z ProLiteGraph, 28.6.2011 červená křivka - FTV, zelená - výpočet.

poněkud opožděně. Naopak v odpoledních hodinách je efekt opačný. Ve skutečnosti dochází k pomalejšímu ochlazování, než předpokládá model. Nedokonalost použitého teplotního modelu se projevuje hlavně u dnů s maximálním podílem přímého záření. Na následujícím obrázku je zobrazen den, kdy energie slunečního záření není taková, aby docházelo k velkému ohřevu panelů. Vypočítaný průběh není zkreslen.



Obrázek 27: Ukázka z ProLiteGraph, 8. 9. 2011 hnědá křivka - FTV, zelená - výpočet.

Použitý teplotní model vychází ze základních rovnic termodynamiky. Hlavními vstupy do výpočtu jsou:

- měrná tepelná kapacita fotovoltaického panelu C_{panel} [10]
- průměrná teplota za dané období T_0
- koeficient pohltivosti α
- koeficient poklesu účinnosti přeměny k_p
- hmotnost panelu na 1 m^2

Aktuální teplotu fotovoltaického panelu jsem vypočítal podle teplotního přírůstku za daný časový úsek, po který je panel vystaven dopadajícímu přímému záření. Časový úsek t je roven délce periody měření výkonu na solárním čidle.

$$T_p = T_{p-1} \pm \Delta T_p \quad (6.20)$$

Teplotní přírůstek je roven součtu teploty fotovoltaického panelu, získané ohřevem od okolí T_0 a teploty získané přímým zářením $E_{\text{Dir,tilt}}$

$$\Delta T_p = \frac{(E_{\text{Dir,tilt}} * t) + (m_p * C_m * T_0)}{m_p * C_m} * \alpha \quad (6.21)$$

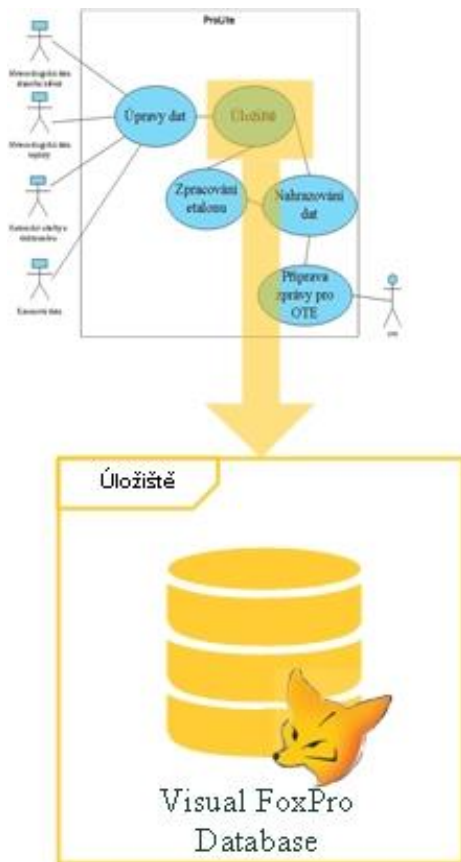
Koeficient teplotní závislosti získáme z rovnice:

$$T_k = k_p * (T_p - 25) \quad (6.22)$$

Konstanta 25 znamená standardizovanou teplotu, kdy je teplotní závislost přeměny na fotovoltaickém panelu nulová.

Konečným úkonem je rozdělení dne na oblast kladných a záporných přírůstků teploty fotovoltaického panelu. Pro tento proces nejsou k dispozici informace. Proto jsem využil odhad, kdy jistá teplotní setrvačnost systému zpozdí klesání teploty o 2 hodiny oproti maximu dopadající energie. Reálné řešení je zajištěno rozhodovací konstrukcí CASE. Hodnota je nastavena na 14:00.

6.1.3 Funkční dekompozice účinnosti – Úložiště



Jako datové úložiště jsem si zvolil nativní databázovou strukturu typu Microsoft Visual FoxPro 9.0 Pro tuto databázi jsem se rozhodl z těchto důvodů:

- Integrace do odečtových systémů distribučních společností. Nativní databáze je zcela lokální a je nezávislá na databázových strojích.
- Je jednoduše přenositelná
- Je rychlá
- Aplikace ProLite je naprogramována ve stejném prostředí
- Rychlý vývoj
- Dobrá flexibilita, rychlost potřebných úprav
- Jednoduchost formátu, známý formát
- Zpracování ProLite jako webová služba – datové úložiště je přímo u služby a není třeba speciální konektivity na databázi

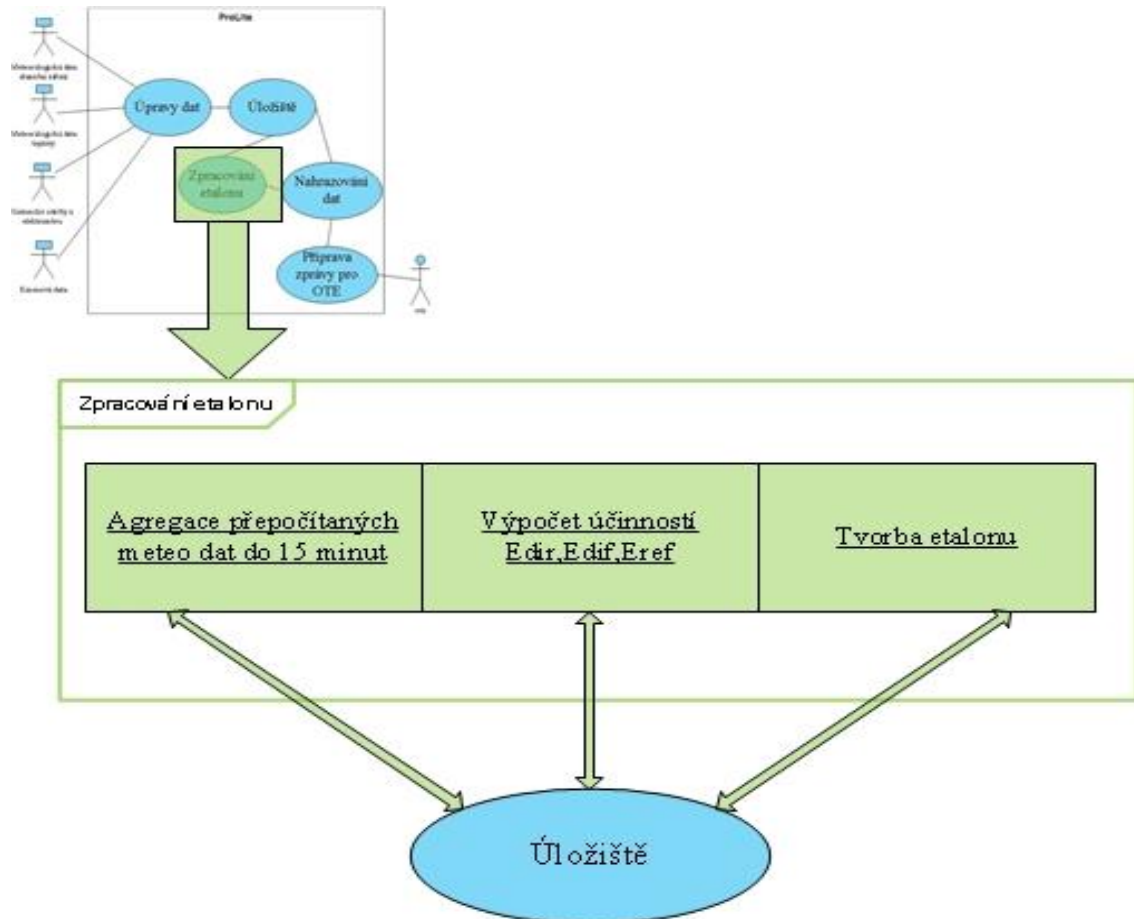
Obrázek 28: Funkční dekompozice činnosti Úložiště.

Tabulka 4: Seznam klíčových tabulek v úložišti.

Tabulka	Popis
Etalon	Normované hodnoty účinností fotovoltaického panelu pro jednotlivé složky záření. Pro každou čtvrt hodinu v roce, je uvedena účinnost pro E_{dir} , E_{dif}
Senzor_Final	Historická data měření slunečního záření z meteorologické stanice. Záznamy jsou po minutách 2008 - současnost
FTV_final	Historická data odečtů z elektroměru fotovoltaické elektrárna. Záznamy jsou po čtvrt hodinách 2011 - současnost.
Solar_Vypocet_Final	Přepočtené hodnoty historických dat slunečního záření, rozdělené globální záření, teplotní koeficient. Záznamy jsou po minutách
Teploty	Průměrné měsíční teploty 2008 - současnost

6.1.4 Funkční dekompozice účinnosti – Zpracování etalonu

Do etalonu jsem zpracoval historická data slunečního záření z meteorologické stanice a historická data odečtů z elektroměru fotovoltaické elektrárny.



Obrázek 29: Funkční dekompozice činnosti Zpracování etalonu.

Moje prvotní myšlenka byla, že pro nahrazování chybějících dat použiji nějak neupravená data z meteorologické stanice, která přepočítám pouze na čtvrt hodinové intervaly, aby byla časově shodná s měřením v elektroměru. Po mnoha pokusech a grafickém zobrazení výsledků jsem pochopil, že do výpočtu náhradních dat budu muset zahrnout další proměnné. Ukázalo se, že těmito proměnnými, které zásadně ovlivňují výsledky nahrazovacího algoritmu, jsou účinnosti fotovoltaického panelu na jednotlivé složky slunečního záření. Technické listy fotovoltaického panelu uvádějí účinnost. Tato hodnota ale neodpovídá příliš realitě. Hodnota udávané účinnosti je měřena pro optimální podmínky při osvětlení standardizovaným spektrem AM1.5, což je globální záření, které obsahuje obě složky. Celková účinnost fotovoltaického panelu vychází z poměru přímé a difúzní složky. A tento poměr je závislý na povětrnostních podmínkách. Proto jsem připravil algoritmus, který provede výpočet účinnosti fotovoltaického panelu v závislosti na poměru přímého a difúzního záření a založí etalon.

6.1.4.1 Agregace přepočítaných meteorologických dat slunečního záření

Aby bylo možné provádět výpočty nahrazování a validace dat na elektroměru, je nutné znát měřicí a hlavně záznamové procesy v elektroměru. Proces záznamu probíhá v definované časové periodě. Perioda je nastavena na 1 měsíc. Po tuto dobu probíhá kontinuální, nepřerušovaný záznam hodnoty vyrobené energie fotovoltaickou elektrárnou. Vzorkovací frekvence n je 1 s, kdy dojde k záznamu okamžitého výkonu P_n , záznamová perioda do profilu max je 900 s. [5]

Na konci periody provede výpočet práce W_{15} za daný čas:

$$W_{15} = \frac{1}{max} \sum_{n=1}^{max} P_n \quad (6.23)$$

Dále je nutné počítat se zaokrouhlováním a přenosem do dalších časových period. Elektroměr je schopen do svého registru zaznamenat pouze celá čísla, ve formátu 9999 v jednotkách kW. Na konci periody, kdy dojde k výpočtu W_{15} , je tato hodnota zaokrouhlena na řád 1000 a to vždy směrem dolů. V následující periodě je k 1. sekundě převeden zbytek z předchozí periody, hodnota W_{15} je rovna součtu aktuální hodnoty a zbytku z předchozí periody (6.24).

Na konci měsíce je zbytek z poslední periody anulován. Povoleno rozdílení je 1 kW.

$$W_{15} = \sum_{n=1}^{max} W_{15}(n) \% 10^3 + W_{15}(n + 1) \quad (6.24)$$

6.1.4.2 Výpočet účinností E_{dir} , E_{diff} , E_{ref}

Během výpočtu účinností dochází k porovnávání přepočítaných hodnot výkonu slunečního záření, které v danou čtvrt hodinu dopadá na fotovoltaický panel s hodnotami z elektroměru za stejnou čtvrt hodinu. Účinnost $\eta_{Dir,tilt}$ udává technický list. Účinnost $\eta_{Diff,tilt}$ na difúzní záření je nastavena na $\eta_{Dir,tilt} - 30\%$ (pro monokrystalické panely). Pokud je vypočítaný výkon příliš vysoký, dochází k postupnému ponížení $\eta_{Diff,tilt}$, dokud nejsou hodnoty v tolerovatelné shodě. Hodnota $E_{Ref,tilt}$ se přičítá k $E_{Diff,tilt}$ a aplikuje se stejná účinnost.

6.1.4.3 Tvorba etalonu

Po výpočtu účinností pro každou čtvrt hodinu se vypočítají průměrné hodnoty, které jsou rozděleny podle hodnot energie globálního záření. Etalon obsahuje informace pro konkrétní výrobu, kde jsou uvedeny průměrné hodnoty účinností $\eta_{Dir,tilt}$, $\eta_{Diff,tilt}$ pro určitý čtvrt hodinový výkon slunečního záření za určité roční období.

Tabulka 5: Ukázka struktury etalonu.

čas	Energie globální záření [W]	Účinnost přímé záření LEDEN	Účinnost difúzní záření LEDEN	Účinnost přímé záření ÚNOR	Účinnost difúzní záření ÚNOR	Účinnost přímé záření BŘEZEN	Účinnost dif. záření BŘEZEN
11:30:00	1000	0,17	0,15	0,16	0,12	0,17	0,15
11:30:00	2000	0,17	0,14	0,16	0,13	0,17	0,15
11:30:00	3000	0,17	0,14	0,15	0,10	0,17	0,14
11:30:00	4000	0,17	0,13	0,17	0,09	0,17	0,13
11:45:00	1000	0,17	0,13	0,16	0,10	0,17	0,13
11:45:00	2000	0,17	0,12	0,17	0,11	0,17	0,12

Tabulka představuje výřez z etalonu, kde:

Pokud na panely fotovoltaické elektrárny dopadá sluneční záření o energii 1000 W a je měsíc leden 11:30 hodin, tak účinnost na přímé záření je 17% a na difúzní záření je 15%.

Pokud na panely fotovoltaické elektrárny dopadá sluneční záření o energii 2000 W a je měsíc leden 11:30 hodin, tak účinnost na přímé záření je 17% a na difúzní záření je 14%.

Grafické zobrazení dat etalonu je znázorněno na následujících obrázcích.

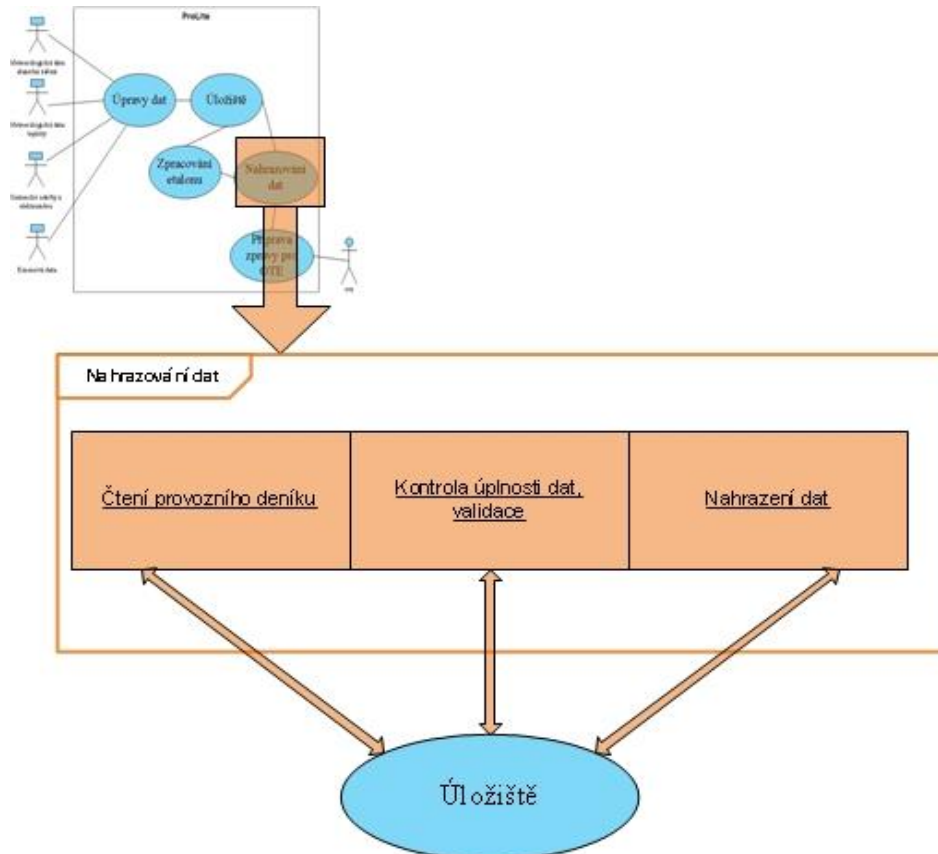
Čas	Účinnost	1Dir	1Dif	2Dir	2Dif	3Dir	3Dif	4Dir	4Dif	5Dir	5Dif	6Dir	6Dif	7Dir	7Dif	8Dir	8Dif	9Dir	9Dif	10Dir	10Dif	11Dir	11Dif	12Dir	12Dif
07:00:00:3000										0.178	0.099	0.173	0.095												
07:15:00:3000						0.178	0.078	0.178	0.104	0.178	0.175	0.100	0.170	0.081	0.178	0.086									
07:30:00:3000						0.178	0.178	0.178	0.149	0.178	0.178	0.094	0.171	0.086	0.178	0.094									
07:45:00:3000						0.177	0.178	0.148	0.178	0.101	0.178	0.105	0.178	0.111	0.178	0.093									
08:00:00:3000						0.176	0.108	0.178	0.141	0.178	0.088	0.178	0.088	0.178	0.094	0.163	0.074	0.178	0.110						
08:15:00:3000			0.178	0.052		0.165	0.099	0.178		0.178	0.088	0.178	0.095	0.178	0.082	0.178	0.080	0.176	0.116						
08:30:00:3000			0.178	0.066		0.174	0.104	0.171	0.110	0.164	0.075	0.178	0.085	0.169	0.067	0.178	0.074	0.177	0.113	0.167	0.053	0.178	0.090		
08:45:00:3000			0.178	0.067		0.171	0.080	0.178	0.106	0.178	0.073	0.178	0.082	0.167	0.073	0.152	0.061	0.178	0.092	0.171	0.113	0.178	0.099		
09:00:00:3000			0.149	0.059		0.171	0.058	0.178	0.094	0.178	0.075	0.178	0.082	0.163	0.051	0.168	0.065	0.173	0.087	0.172	0.103	0.169	0.088		
09:15:00:3000	0.194	0.018	0.138	0.058	0.177	0.076	0.178	0.088	0.163	0.079	0.178	0.082	0.178	0.070	0.163	0.038	0.173	0.078	0.171	0.105	0.157	0.073	0.161	0.070	
09:30:00:3000	0.150	0.031	0.142	0.046	0.168	0.053	0.178	0.090	0.166	0.091	0.178	0.089	0.178	0.072	0.167	0.052	0.163	0.081	0.166	0.109	0.168	0.090	0.163	0.050	
09:45:00:3000		0.017		0.042	0.178	0.054	0.178	0.111	0.163	0.078	0.178	0.078	0.178	0.073	0.178	0.048	0.163	0.060	0.168	0.093	0.174	0.094	0.142	0.036	
10:00:00:3000		0.028	0.021	0.067	0.165	0.068	0.178	0.084	0.150	0.066	0.178	0.073	0.178	0.061	0.163	0.048	0.159	0.067	0.164	0.088	0.161	0.069	0.152	0.037	
10:15:00:3000	0.118	0.035	0.112	0.066	0.169	0.059	0.178	0.098	0.165	0.074	0.177	0.071	0.178	0.064	0.162	0.046	0.174	0.061	0.153	0.063	0.163	0.045	0.137	0.050	
10:30:00:3000	0.096	0.030	0.117	0.058	0.178	0.076	0.160	0.079	0.167	0.086	0.178	0.082	0.178	0.072	0.174	0.072	0.174	0.048	0.164	0.052	0.170	0.060	0.041	0.045	
10:45:00:3000	0.106	0.042	0.119	0.080	0.161	0.048	0.165	0.093	0.152	0.080	0.177	0.072	0.174	0.074	0.178	0.046	0.180	0.053	0.150	0.065	0.160	0.030	0.040	0.048	
11:00:00:3000	0.103	0.029	0.118	0.073	0.169	0.066	0.168	0.076	0.163	0.097	0.178	0.077	0.174	0.068	0.166	0.041	0.171	0.057	0.146	0.052	0.144	0.032	0.133	0.054	
11:15:00:3000	0.105	0.022	0.118	0.061	0.161	0.055	0.178	0.093	0.159	0.068	0.177	0.085	0.174	0.068	0.177	0.041	0.171	0.057	0.165	0.056	0.151	0.044	0.133	0.053	
11:30:00:3000	0.106	0.040	0.137	0.071	0.165	0.077	0.156	0.076	0.150	0.070	0.177	0.079	0.178	0.061	0.176	0.047	0.158	0.050	0.150	0.053	0.140	0.041	0.126	0.050	
11:45:00:3000	0.104	0.042	0.136	0.086	0.178	0.056	0.152	0.069	0.165	0.082	0.177	0.084	0.178	0.066	0.154	0.033	0.164	0.064	0.138	0.045	0.143	0.054	0.126	0.067	
12:00:00:3000	0.108	0.038	0.134	0.070	0.178	0.069	0.149	0.085	0.178	0.109	0.176	0.078	0.178	0.072	0.178	0.033	0.150	0.073	0.149	0.072	0.142	0.035	0.113	0.073	
12:15:00:3000	0.106	0.043	0.130	0.061	0.178	0.069	0.161	0.086	0.178	0.096	0.178	0.062	0.143	0.060	0.152	0.046	0.156	0.058	0.135	0.052	0.142	0.036	0.113	0.062	
12:30:00:3000	0.092	0.046	0.135	0.066	0.178	0.062	0.178	0.102	0.178	0.097	0.178	0.078	0.174	0.074	0.160	0.041	0.167	0.049	0.139	0.042	0.140	0.032	0.120	0.067	
12:45:00:3000	0.116	0.057	0.142	0.083	0.178	0.052	0.178	0.095	0.178	0.084	0.178	0.082	0.172	0.073	0.178	0.052	0.178	0.051	0.138	0.049	0.147	0.039	0.106	0.058	
13:00:00:3000	0.110	0.045	0.138	0.083	0.178	0.062	0.178	0.081	0.178	0.084	0.178	0.083	0.178	0.064	0.155	0.046	0.161	0.054	0.136	0.066	0.162	0.061	0.106	0.040	
13:15:00:3000	0.114	0.059	0.138	0.089	0.178	0.065	0.178	0.089	0.163	0.085	0.178	0.081	0.164	0.060	0.178	0.070	0.177	0.045	0.136	0.060	0.165	0.073	0.093	0.042	
13:30:00:3000	0.111	0.045	0.137	0.085	0.175	0.042	0.166	0.096	0.178	0.087	0.178	0.093	0.161	0.063	0.169	0.065	0.166	0.060	0.142	0.042	0.141	0.048	0.113	0.023	
13:45:00:3000		0.036	0.117	0.068	0.175	0.039	0.164	0.093	0.178	0.085	0.178	0.084	0.154	0.049	0.162	0.070	0.162	0.047	0.154	0.047	0.153	0.071	0.113	0.027	
14:00:00:3000	0.105	0.030	0.118	0.064	0.173	0.043	0.145	0.076	0.178	0.090	0.178	0.086	0.178	0.053	0.178	0.060	0.165	0.046	0.134	0.054	0.156	0.064	0.106	0.036	
14:15:00:3000	0.110	0.031	0.118	0.075	0.178	0.095	0.165	0.097	0.178	0.088	0.178	0.094	0.178	0.052	0.178	0.054	0.165	0.058	0.166	0.079	0.155	0.074	0.106	0.047	
14:30:00:3000	0.109	0.038	0.118	0.073	0.172	0.058	0.178	0.102	0.178	0.086	0.178	0.094	0.178	0.076	0.176	0.063	0.175	0.053	0.150	0.046	0.160	0.079	0.099	0.070	
14:45:00:3000	0.095	0.016	0.104	0.050	0.170	0.083	0.178	0.099	0.162	0.085	0.178	0.109	0.178	0.068	0.165	0.071	0.164	0.061	0.156	0.062	0.161	0.078	0.106	0.047	
15:00:00:3000	0.119	0.047	0.109	0.045	0.162	0.072	0.179	0.086	0.178	0.087	0.178	0.091	0.178	0.083	0.179	0.084	0.165	0.070	0.148	0.066	0.147	0.018	0.106	0.047	
15:15:00:3000		0.105	0.038	0.149	0.050	0.178	0.100	0.178	0.095	0.178	0.084	0.164	0.084	0.165	0.063	0.171	0.090	0.162	0.082						
15:30:00:3000		0.137	0.058	0.169	0.074	0.178	0.106	0.178	0.107	0.178	0.082	0.149	0.067	0.178	0.066	0.172	0.068	0.142	0.079						
15:45:00:3000		0.176	0.071	0.145	0.064	0.178	0.087	0.178	0.102	0.178	0.088	0.166	0.067	0.178	0.076	0.170	0.051	0.153	0.078						
16:00:00:3000		0.165	0.071	0.177	0.105	0.178	0.103	0.178	0.098	0.178	0.084	0.178	0.067	0.178	0.075	0.163	0.070	0.168	0.095						
16:15:00:3000		0.165	0.098	0.178	0.090	0.178	0.102	0.178	0.069	0.178	0.059	0.178	0.059	0.176	0.067	0.167	0.081	0.162	0.103						
16:30:00:3000		0.172	0.116	0.178	0.092	0.178	0.102	0.177	0.073	0.178	0.075	0.179	0.064	0.178	0.084	0.178	0.084	0.173	0.099						
16:45:00:3000		0.175	0.099	0.166	0.092	0.178	0.098	0.178	0.085	0.178	0.070	0.168	0.059	0.177	0.083	0.172	0.066								
17:00:00:3000		0.178	0.035	0.178	0.116	0.168	0.092	0.178	0.085	0.178	0.085	0.178	0.085	0.178	0.066	0.171	0.083	0.175	0.090						
17:15:00:3000		0.178	0.104	0.178	0.121	0.178	0.085	0.177	0.085	0.178	0.093	0.178	0.072	0.178	0.084										
17:30:00:3000		0.178	0.173	0.178	0.114	0.178	0.102	0.177	0.083	0.178	0.085	0.178	0.078	0.177	0.090										
17:45:00:3000		0.178	0.104	0.178	0.109	0.178	0.117	0.178	0.081	0.178	0.091	0.177	0.078	0.178	0.101										
18:00:00:3000						0.178		0.178	0.104	0.177	0.088	0.178	0.094	0.177	0.072	0.178									
18:15:00:3000						0.178		0.178	0.112	0.178	0.099	0.178	0.096	0.174	0.070	0.178	0.080								
18:30:00:3000						0.178		0.178	0.114	0.176	0.084	0.167	0.069	0.177	0.079										
18:45:00:3000						0.178	0.057	0.178	0.103	0.177	0.090	0.160	0.073	0.178	0.079										

Obrázek 30: Ukázka z programu ProLiteGraph, etalon pro výkon 3000 W.

Čas	Účinnost	1Dir	1Dif	2Dir	2Dif	3Dir	3Dif	4Dir	4Dif	5Dir	5Dif	6Dir	6Dif	7Dir	7Dif	8Dir	8Dif	9Dir	9Dif	10Dir	10Dif	11Dir	11Dif	12Dir	12Dif
08:15:00:6000								0.178	0.148	0.178	0.177	0.103	0.174	0.082											
08:15:00:7000								0.178	0.148	0.178	0.177	0.103	0.174												

6.1.5 Funkční dekompozice činnosti – Nahrazování dat

Nahrazovací proces je již jen sled rozhodovacích uzlů ve finalizační operaci aplikace ProLite.



Obrázek 32: Funkční dekompozice - Nahrazování dat.

6.1.5.1 Čtení provozního deníku událostí

Elektroměr zaznamenává do své paměti anomálie měření, které mohou nastat. V případě výpadku odečtených dat je informace z deníku událostí důležitá pro rozhodnutí ve validačním procesu, jakým způsobem budou chybějící data nahrazena.

Tabulka 6: Ukázka statusů z provozního deníku elektroměru.

kód	Popis	Nahradit
8001	Chyba elektroměru	ANO
8122	Čas 1 Výpadek napětí sítě	NE
8008	Výpadek napětí lokální sítě	ANO
8003	Chyba měřené hodnoty (zkrácená měřicí perioda v důsledku korekce času)	ANO

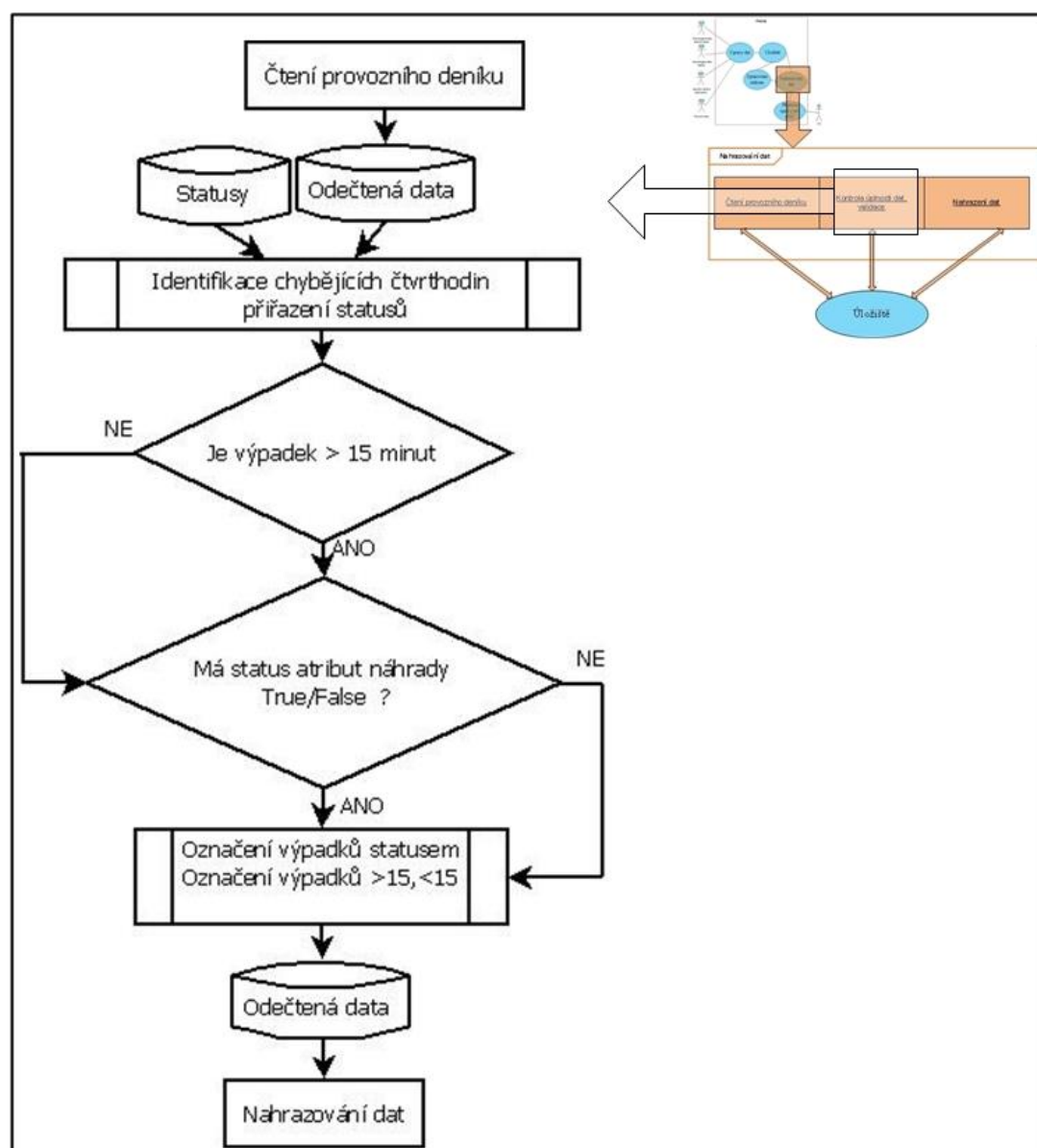
Nutnost nahrazování znamená vypočtení náhradních hodnot. Nahrazuje se vždy – časová osa musí být kontinuální. Ale podle statusu je možné chybějící hodnoty doplnit nulami.

6.1.5.2 Kontrola úplnosti dat, validace

Provádí identifikaci chybějících úseků v profilovém záznamu, základní kontroly integrity dat.

Tabulka 7: Kroky v operaci kontroly úplnosti dat, validace.

Krok	popis
1	Zjistí se chybějící čtvrt hodiny
2	Přiřadí se statusy událostí
3	Identifikují se dlouhé výpadky > 15 minut
4	Sloučená data status + úseky výpadků jsou označena



Obrázek 33:Schéma validace profilových dat.

6.1.5.3 Nahrazení dat

Finální hodnota vypočítaného výkonu fotovoltaického panelu za danou periodu, kterou potřebuji nahradit je:

$$P_{panel} = \{ (E_{Dir,tilt} * \eta_{Dir,tilt}) + ((E_{Diff,tilt} + E_{Ref,tilt}) * \eta_{Diff,tilt}) \} * T_k * \eta_{stridac} * A \quad (6.25)$$

Tabulka 8: Vstupní proměnné do výpočtu náhradní hodnoty.

Proměnná	Popis	jednotka	Tabulka v databázi
$E_{Dir,tilt}$	Výkon přímého záření	W	Solar_Vypocet_Final
$E_{Diff,tilt}$	Výkon difúzního záření	W	Solar_Vypocet_Final
$\eta_{Dir,tilt(P)}$	Účinnost na přímé záření, pro daný výkon (P)	%	Etalon
$\eta_{Diff,tilt(P)}$	Účinnost na difúzní záření, pro daný výkon (P)	%	Etalon
T_k	Teplotní koeficient	%	funkce
$\eta_{stridac}$	Účinnost měniče	%	Kmenová data
A	Plocha fotovoltaických panelů	m ²	Kmenová data

Tabulka 9: Kroky v procesu nahrazení chybějících čtvrtodin.

Krok	Popis
0.	Nutné nahradit výpočtem?
1.	Zjištění hodnot energií složek slunečního záření v době chybějících čtvrtodin
2.	Čtení etalonu – zjištění účinností pro daný výkon a periodu
3.	Výpočet teplotního koeficientu
4.	Čtení kmenových dat
5.	Aplikace rovnice (6.25)
6.	Nahrazení vypočítanou hodnotou

Nahrazují se všechna data. Podle statusu z deníku událostí se nahradí nulou, nebo se hodnota dopočítá. Algoritmus nahrazení závisí na délce výpadku. Krátkodobé výpadky jsou takové, které nepřekročí dobu větší než jedna základní perioda 15 minut. Takový výpadek se řeší jednoduchými algoritmy:

Nahrazení zleva: vloží se předchozí hodnota

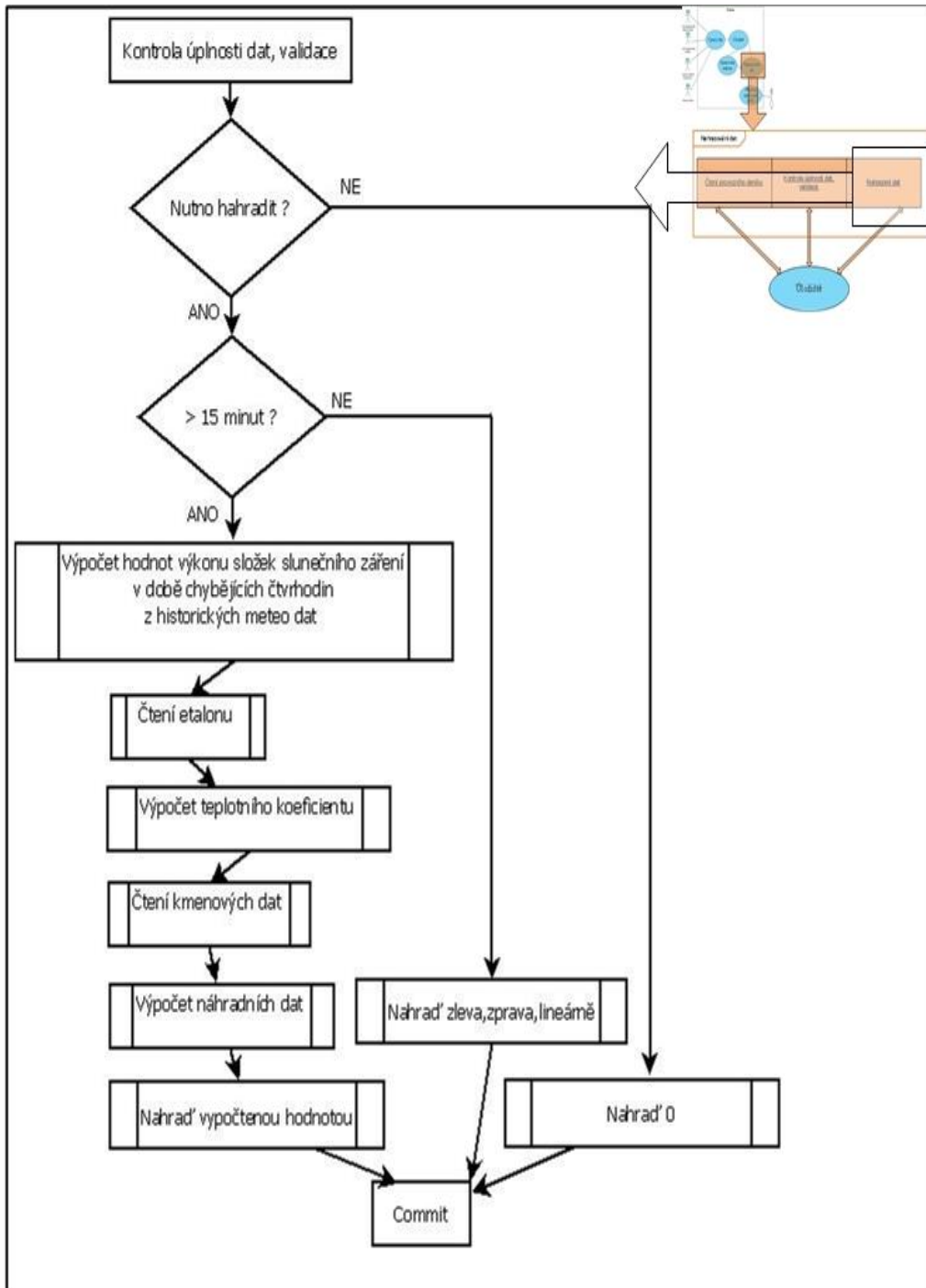
Nahrazení zprava: vloží se následující hodnota

Nahrazení lineárně: vloží se průměrná hodnota předchozí a následující

Nahrazení statusem: vloží se nula, nastaví se status

Dlouhodobé výpadky přesahující více jak jednu základní periodu je nutné dopočítat pomocí algoritmu, který využije etalonu dané fotovoltaické elektrárny a historických dat ze solárního čidla. Po úspěšném nahrazení musí být všechny takto doplněné periody označeny

statusem, který informuje o použitém algoritmu. Následující obrázek zobrazuje diagram procesu nahrazení chybějících čtvrt hodin.

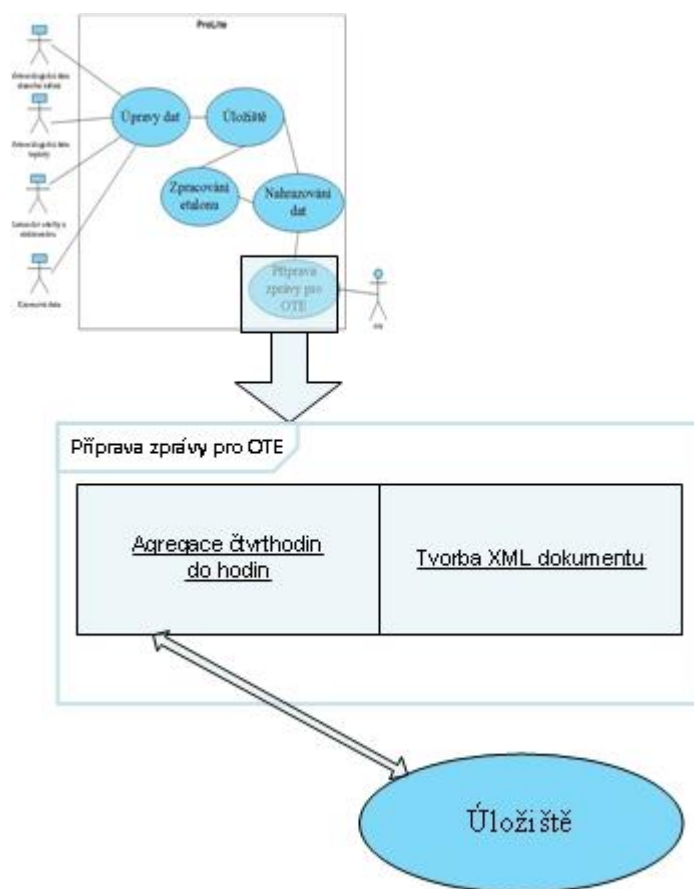


Obrázek 34: Diagram nahrazení chybějících dat.

6.1.6 Funkční dekompozice činnosti – příprava zprávy pro OTE

Finální proces, který zajistí kompatibilitu formátu naměřených a nahrazených odečtených dat s formáty OTE. Pro komunikaci s OTE je využíváno standardizované rozhraní realizované formou konzumace webových služeb. [13] Struktura a organizace dat je přesně ujednána formou prováděcích předpisů. Proces implementuje požadavky na formát zprávy dle OTE. Vedle dodržení správného formátu jednotlivých položek a jednotek, je nutné provést agregaci dat.

Neměřené hodnoty z elektroměrů jsou přepočítány z 15 minutových period do 60 minutových. Operace agregace dat do hodinových intervalů probíhá podle stejného algoritmu jako agregace přepočítaných meteorologických dat slunečního záření do 15 minut.



Obrázek 35: Proces přípravy zprávy pro OTE.

Vytvořený xml dokument je uložen do souboru. Tento dokument je již možné vložit do SOAP obálky, provést elektronické podepsání a odeslat operátorovi trhu pomocí webové služby.

7. Testy

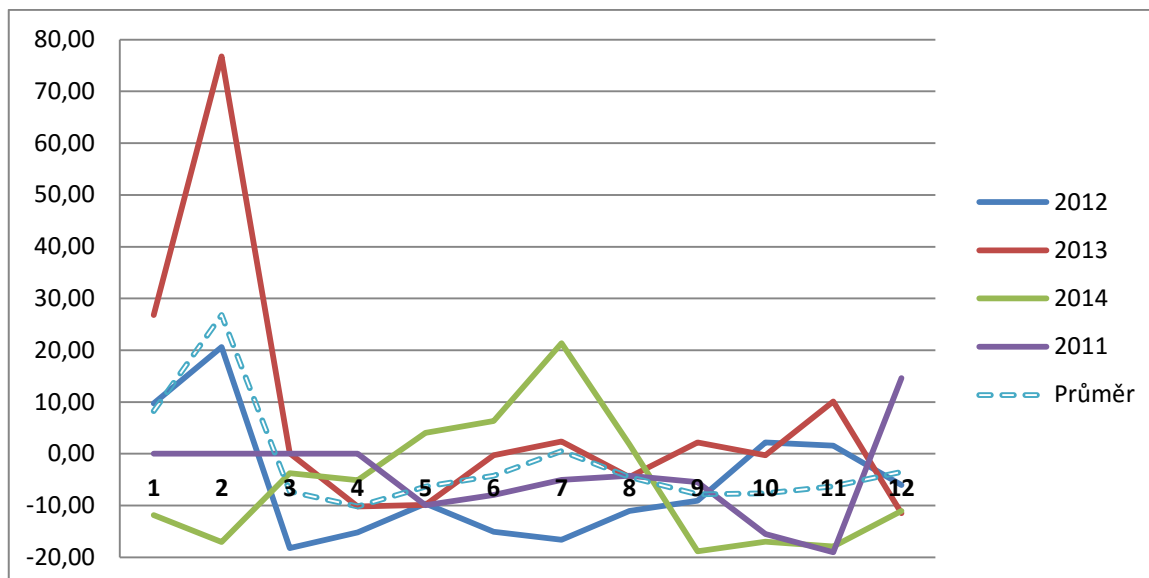
Testy jsou rozděleny do dvou částí. V první části je testována přesnost výpočtu náhradních hodnot dle vypočítaného etalonu. V druhé části je test aplikace provádějící nahrazování dat.

7.1 Test výpočtu náhradních hodnot

Test výpočtu byl proveden pomocí programu, který simuloval výpadky měření v jednotlivých dnech v roce. Dále jsem pro test použil reálná data s výpadky měření. Výsledky výpočtu byly uloženy do tabulky, kde byly spárovány se skutečnými naměřenými hodnotami. Z výsledné tabulky byla provedena analýza. Výsledky byly rozděleny do jednotlivých roků. Na následující stránce je tabulka výsledků testu výpočtu náhradních hodnot. Tabulka obsahuje rok/měsíc, sumu vypočteného výkonu, sumu reálně naměřeného výkonu a rozdíl. Na následujícím grafu je tabulka zobrazena graficky.

Tabulka 10: Výsledky testu výpočtu náhradních hodnot.

M2011	vypočtené [kW]	naměřené [kW]	rozdíl [kW]	%
5	5466	6067	-601	-9,91
6	3903	4240	-337	-7,95
7	3326	3503	-177	-5,05
8	4298	4487	-189	-4,21
9	3561	3768	-207	-5,49
10	2794	3307	-513	-15,51
11	2123	2621	-498	-19,00
12	384	335	49	14,63
M2012	vypočtené [kW]	naměřené [kW]	rozdíl [kW]	%
1	733	668	65	9,73
2	1493	1238	255	20,60
3	4419	5403	-984	-18,21
4	4426	5217	-791	-15,16
5	5641	6240	-599	-9,60
6	4707	5541	-834	-15,05
7	3921	4702	-781	-16,61
8	4865	5469	-604	-11,04
9	3405	3745	-340	-9,08
10	2718	2660	58	2,18
11	1617	1592	25	1,57
12	543	578	-35	-6,06
M2013	vypočtené [kW]	naměřené [kW]	rozdíl [kW]	%
1	416	328	88	26,83
2	661	374	287	76,74
3	2858	2856	2	0,07
4	3468	3860	-392	-10,16
5	3838	4257	-419	-9,84
6	4541	4554	-13	-0,29
7	4931	4815	116	2,41
8	4411	4618	-207	-4,48
9	3081	3014	67	2,22
10	3232	3242	-10	-0,31
11	1077	978	99	10,12
12	1810	2045	-235	-11,49
M2014	vypočtené [kW]	naměřené [kW]	rozdíl [kW]	%
1	1021	1158	-137	-11,83
2	2467	2973	-506	-17,02
3	4562	4739	-177	-3,74
4	3931	4143	-212	-5,12
5	4160	3999	161	4,03
6	4903	4612	291	6,31
7	4121	3395	726	21,38
8	3342	3283	59	1,80
9	2630	3241	-611	-18,85
10	2662	3206	-544	-16,97
11	1113	1356	-243	-17,92
12	694	780	-86	-11,03



Obrázek 36: Graf % odchylky od naměřených hodnot.

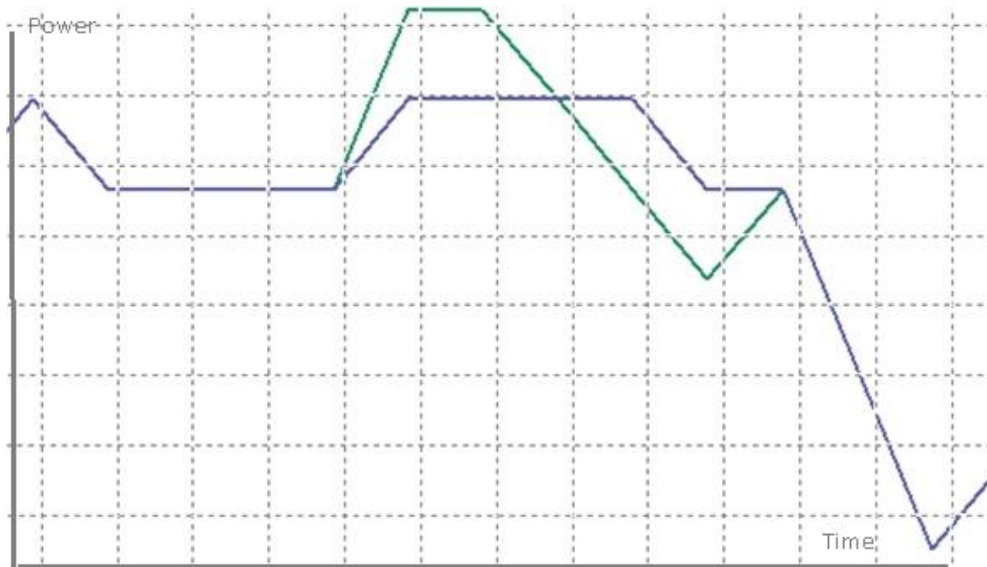
Tabulky obsahují výsledky výpočtů pro roky 2011 - 2014. V zimních měsících roku 2013 je patrný vysoký nárůst vypočtené hodnoty od skutečnosti. To může být zapříčiněno sněhovou pokrývkou fotovoltaických panelů. V roce 2014 však tento jev nenastal, naopak výpočet byl podhodnocující. Z toho se dá usuzovat, že v zimě 2014 převládali bezesrážkové dny, kdy se do výpočtu více projevovала nepřesnost teplotní.

Převažující záporná hodnota je zapříčiněna nepřesným vyhodnocením teplotních podmínek panelů a statistickým zkreslením extrémními hodnotami. Průměrná procentuální odchylka vypočtené hodnoty od naměřené je 12,91%. S ohledem na reálný proces nahrazování hodnot, kdy nahrazování dat pro periody delší než několik hodin jsou zcela výjimečné, je tento výsledek velmi solidní.

Tento test ukázal, že princip výpočtu náhradních dat za pomoci nahrazovacího algoritmu a etalonu, které jsem vytvořil, je funkční.

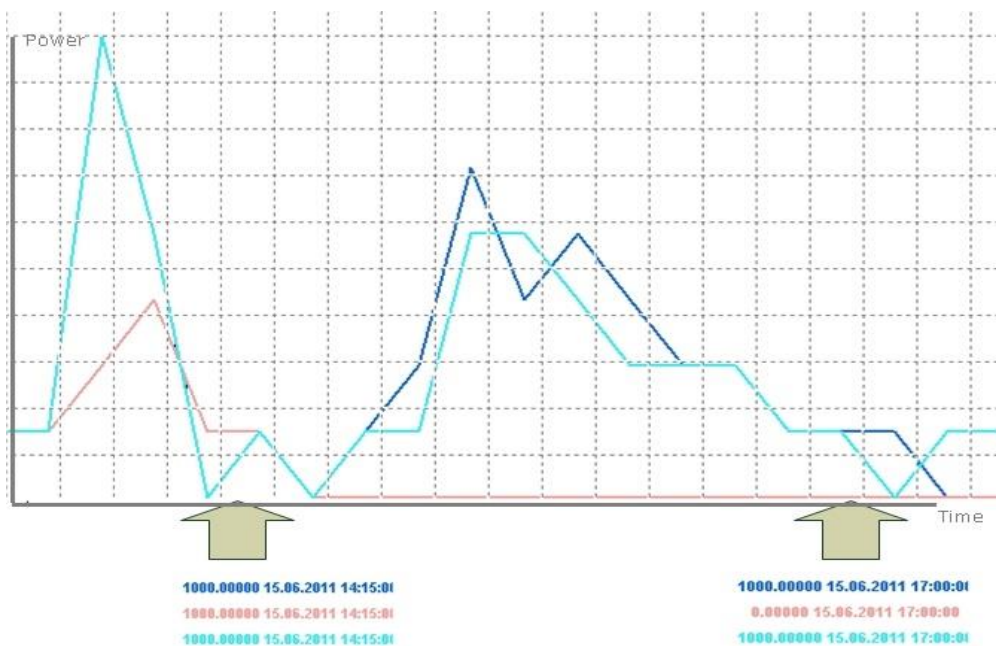
Tabulka 11: Nahrazené hodnoty, viz. obrázek 37.

Čas	Vypočítaná náhrada [kW]	Reálná hodnota [kW]
11:45	9	9
12:00	11	10
12:15	11	10
12:30	10	10
12:45	9	10
13:00	8	9
13:15	9	9



Obrázek 37: Výřez z ProLiteGraph ukazuje nahrazená data pro den 25.02.2014.

Modrá křivka jsou reálná data z elektroměru 11:45-13:15, zelená křivka jsou data vypočítaná. Přesné hodnoty jsou v tabulce 11.



Obrázek 38: Výřez z ProLiteGraph ukazuje úsek, který byl nahrazen aplikací ProLite.

Hnědá křivka zobrazuje data z elektroměru, modrá křivka zobrazuje nahrazená data, světle modrá křivka zobrazuje průběh účinnosti podle etalonu. Nahrazený úsek je od 14:15 do 17:00.

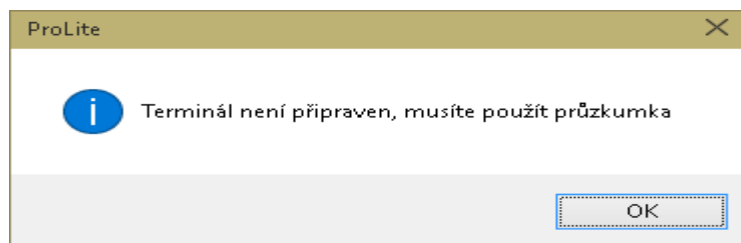
7.2 Testy aplikace pro nahrazování dat

Softwarové řešení je určeno pro serverové nasazení jako dynamické knihovny připojené k procesům bez uživatelského rozhraní. Pro testy byla vytvořena aplikace, která využívá knihovny stejné jako serverový software. Testování proběhlo podle testovacího scénáře. Výsledky testů dostupnosti webové služby jsou obsaženy v příloze.

Tabulka 12: Testovací scénář procesu nahrazení.

Krok	Popis testovacího případu	Popis nebo odkaz na přílohu	Očekávaný výsledek	Kategorie chyby
1	Start procesu	Otestuje spojení na ruční terminál	Spojení s terminálem nebo nastavení cesty do složky s daty z měřidla, viz screenshot	4
2	Načtení dat z měřidel	Načtení dat z terminálu do nativní tabulky	Surová data jsou uložena v nativním kurzoru, přenesena z terminálu do počítače	OK
3	Transformace surových dat	Surová data jsou párována a ukládána do dočasného kurzoru	Kurzor obsahující transformovaná surová data.	OK
4	Načtení provozního deníku	Získání provozního deníku s časovými značkami	Kurzor s daty provozního deníku	OK
5	Validace dat	Kontrola profilových dat na obsažené výpadky, spojení s provozním deníkem	Označené výpadky, status krátkého nebo dlouhého výpadku, omluvení výpadků deníkem	OK
6	Nahrazování dat 1	Nahrazení dlouhých výpadků pomocí objektu ProLiteValid	Dlouhodobé výpadky jsou nahrazeny náhradní hodnotou a označeny statusem „M“	OK
7	Nahrazování dat 2	Nahrazení krátkých výpadků – volba postupu	Nahrazení volbou změny statusu	OK
8	Příprava SOAP zprávy	Agregace do 60 minut, příprava xml zprávy pro odeslání na OTE	Soubor na disku s xml zprávou	OK

Z výsledků testování vyplynulo, že aplikace je funkční, většina testů dopadla úspěšně a bez chyb. Pouze v jednom případě se objevila malá chyba. Zde nastala situace, kdy nebyl k počítači připojen přenosný počítač pomocí standardního softwaru Microsoft Device Center. V tom okamžiku, kdy aplikace navazovala spojení, došlo k pádu modulu EmerData.



Obrázek 39: Informace pro obsluhu.

Aplikace zareagovala a vyslala hlášení na obrazovku pro obsluhu a následně se přepnula pro čtení dat z definované složky.

NováPec

Datum start: 20140201 RRRRMMDD
 Datum stop: 20140228 RRRRMMDD
 Pod: 8591824001043

Západ (3Q=CO,JOO,JDO 6Q=CO,JOO,JDO,CD,JOD,JDD)
 Východ (3Q=CO,JO,JD 4Q=CO,JO,JD,CD)

Jen poruchy OK

Pokud je čtvrt hodina invalidní je zde popis statusu :

Den	Hodina	CO	JOO(JO)	JDO(JD)	CD	JOD	JDD	Pořadí	Status
25/02/14	10:15	000000	000000	000000	000008	000000	000000	41.00	
25/02/14	10:30	000000	000000	000000	000009	000000	000000	42.00	
25/02/14	10:45	000000	000000	000000	000010	000001	000000	43.00	
25/02/14	11:00	000000	000000	000000	000009	000000	000000	44.00	
25/02/14	11:15	000000	000000	000000	000009	000000	000000	45.00	
25/02/14	11:30	000000	000000	000000	000009	000001	000000	46.00	
25/02/14	11:45	000000	000000	000000	000009	000000	000000	47.00	
25/02/14	12:00	000000	000000	000000	000011	000000	000000	48.00	M
25/02/14	12:15	000000	000000	000000	000011	000001	000000	49.00	M
25/02/14	12:30	000000	000000	000000	000010	000000	000000	50.00	M
25/02/14	12:45	000000	000000	000000	000009	000000	000000	51.00	M
25/02/14	13:00	000000	000000	000000	000008	000001	000000	52.00	M
25/02/14	13:15	000000	000000	000000	000009	000000	000000	53.00	
25/02/14	13:30	000000	000000	000000	000007	000000	000000	54.00	
25/02/14	13:45	000000	000000	000000	000005	000000	000000	55.00	
25/02/14	14:00	000000	000000	000000	000006	000001	000000	56.00	
25/02/14	14:15	000000	000000	000000	000006	000000	000000	57.00	
25/02/14	14:30	000000	000000	000000	000005	000000	000000	58.00	
25/02/14	14:45	000000	000000	000000	000005	000000	000000	59.00	
25/02/14	15:00	000000	000000	000000	000003	000001	000000	60.00	
25/02/14	15:15	000000	000000	000000	000002	000000	000000	61.00	
25/02/14	15:30	000000	000000	000000	000001	000000	000000	62.00	

Obrázek 40: Výřez z aplikace ProLite, modrá jsou nahrazená data, dlouhý výpadek.

NováPec

Datum start: 20140201 RRRRMMDD
 Datum stop: 20140228 RRRRMMDD
 Pod: 8591824001043

Západ (3Q=CO,JOO,JDO 6Q=CO,JOO,JDO,CD,JOD,JDD)
 Východ (3Q=CO,JO,JD 4Q=CO,JO,JD,CD)

Jen poruchy Porucha

Pokud je čtvrt hodina invalidní je zde popis statusu :
 8003: Chyba měřené hodnoty (zkrácená měřicí perioda v důsledku korekce času a pod.)
 8007: Obnovení napětí sítě
 8008: Výpadek napětí sítě

Den	Hodina	CO	JOO(JO)	JDO(JD)	CD	JOD	JDD	Pořadí	Status
13/02/14	23:30	000001	000000	000000	000000	000000	000000	94.00	8003,8007,8008;
25/02/14	12:00	000000	000000	000000	000011	000000	000000	48.00	M
25/02/14	12:15	000000	000000	000000	000011	000001	000000	49.00	M
25/02/14	12:30	000000	000000	000000	000010	000000	000000	50.00	M
25/02/14	12:45	000000	000000	000000	000009	000000	000000	51.00	M
25/02/14	13:00	000000	000000	000000	000008	000001	000000	52.00	M

Nahrazovací metoda - krátké výpadky

Zleva Zprava Lineárně Statusem

Obrázek 41: Výřez z aplikace ProLite, nahrazování krátkých výpadků.

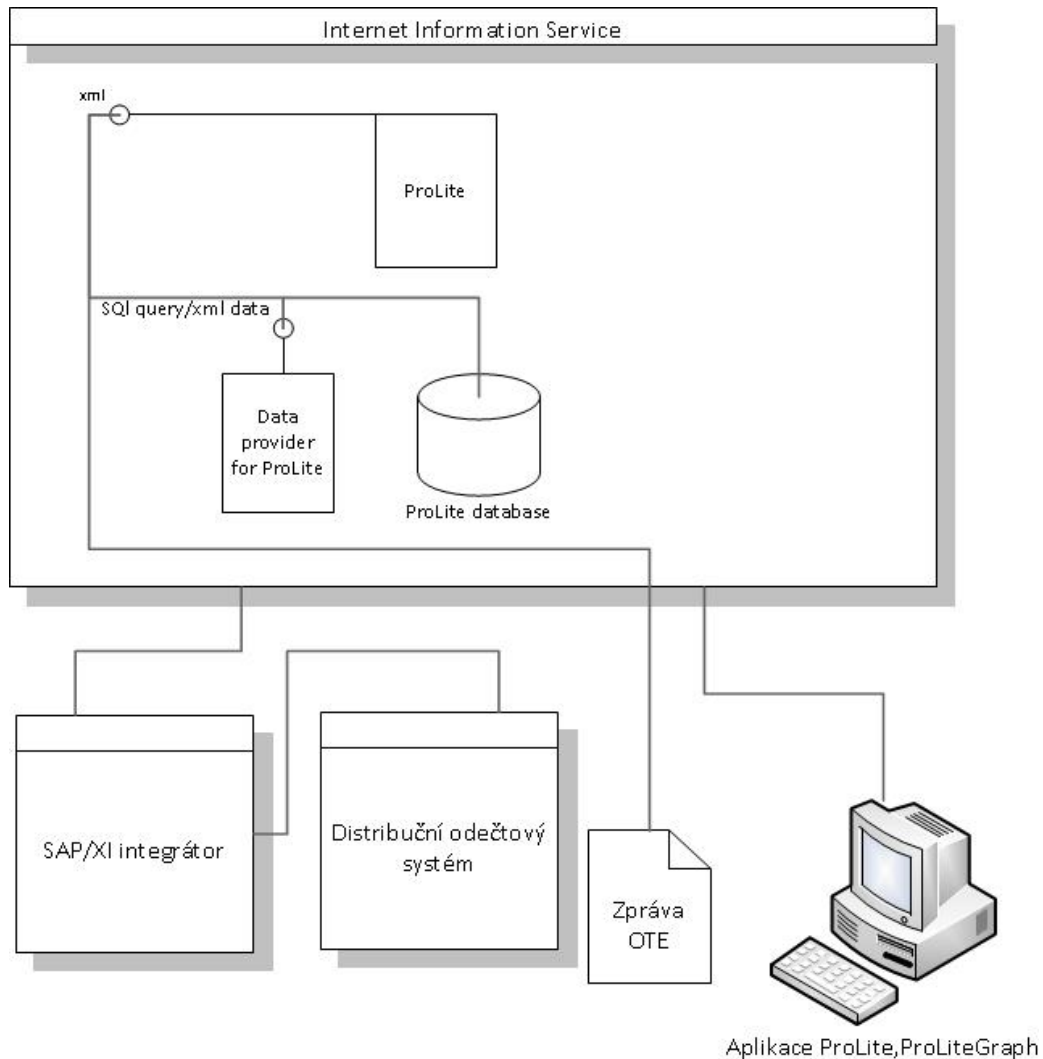
8. Použité technologie

Zde je obsažen seznam použitých technologií.

- Visual Studio 2010, C# (<https://www.microsoft.com/cze/msdn/vstudio/>) – vývojové prostředí pro jazyk C#.
- Visual FoxPro 9.0 SP2 (<https://msdn.microsoft.com/en-us/vfoxpro/>) – vývojový nástroj orientovaný na vývoj databázových aplikací. Vzhledem k výborným schopnostem zpracování dat, rychlosti vývoje, univerzálnosti, distribuční jednoduchosti je tento nástroj i přes své stáří velmi výkonný a v mnoha oblastech dosud nenahrazený. Tento vývojový nástroj byl vybrán na základě kladených požadavků, kterými jsou hlavně rychlost vývoje, znalost nástroje, výborná databázová konektivita, snadná distribuce, rychlost kompilovaného programu, kompatibilita s operačními systémy, výborné schopnosti práce s datovými kurzory.
- Microsoft Visio (<https://products.office.com/cs-cz/visio/flowchart-software>) analytický vývojový nástroj použitý ke zpracování potřebných diagramů a návrhu aplikace.
- SoapToolkit – nástroj pro vytváření wsdl popisovacích souborů pro distribuci webových služeb.
- Microsoft InstalShield – nástroj pro vytváření distribučních balíčků instalací aplikací.
- IIS 7.5 – Internetový informační servis. Jedná se o webový server, který zprostředkovává webové služby pomocí protokolu Soap.

9. Technické řešení aplikace

Technické řešení aplikace vychází ze zvolené architektury. Zvolená architektura je ovlivněna potřebou integrace aplikace do stávajících systémů, které jsou dosti uzavřené. Základem aplikace jsou dynamické knihovny zapouzdřené do obálek webové služby umístěné na serveru IIS.



Obrázek 42: Technické řešení aplikace ProLite.

10. Popis instalace

10.1 Instalace klienta

Pro instalaci klientské aplikace je vytvořen samoinstalační balíček v aplikaci InstalShield. Balíček provede standardní operaci instalace do operačního systému.

10.2 Instalace na server

Jednotlivé komponenty jsou zkompileované multi thread Dynamic Link Libraries. Pro zkompileované programy je pomocí InstalShield vyroben samoinstalační balíček. Pomocí SoapToolkit jsou vyrobeny implementační sady pro implementaci webové služby na server, který je aktivován na aplikačním serveru. Nejdříve se na aplikačním serveru nainstaluje balíček s knihovnamí. Následně se implementují sady pro webovou službu do IIS.

```
xmlns:typens="http://tempuri.org/ProLiteValid/type/"
xmlns:wsdlns="http://tempuri.org/ProLiteValid/wsd1/"
targetNamespace="http://tempuri.org/ProLiteValid/wsd1/"
name="ProLiteValid"><types><schema xmlns="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:wsd1="http://schemas.xmlsoap.org/wsd1/"
targetNamespace="http://tempuri.org/ProLiteValid/type/"
elementFormDefault="qualified" xmlns:SOAP-
ENC="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/"><import
namespace="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/"><import
namespace="http://schemas.xmlsoap.org/wsd1/"><import
namespace="http://schemas.xmlsoap.org/ws/2002/04/reference/"><import
namespace="http://schemas.xmlsoap.org/ws/2002/04/content-
type/"></schema></types><message name="prolitevalid.computeNewData"><part
name="nZemSir" type="xsd:double"/><part name="nZemDel"
type="xsd:double"/><part name="nAzPanel" type="xsd:double"/><part
name="nDePanel" type="xsd:double"/><part name="nE0" type="xsd:double"/><part
name="nAlbedo" type="xsd:double"/><part name="nUcinnostStridac"
type="xsd:double"/><part name="nPlochaFTV" type="xsd:double"/><part
name="nUcDirInput" type="xsd:double"/><part name="nInstVykon"
```

Ukázka wsdl popisu služby pro výpočet dopadového úhlu.

11. Použitá data

Pro zadání jsem použil data z reálné fotovoltaické elektrárny a meteorologická data z meteorologické stanice, která měří solární energii v místě elektrárny.

3 681 612 záznamů ze solárního čidla za období 2008-2014.

128 600 záznamů z elektroměru FTV zdroje za období 05.2011-2014.

12. Závěr

Závěrem lze říci a z výsledků testování je zřejmé, že aplikace je funkční a splňuje zadanou funkcionalitu. Během příprav a analýzy zadání jsem zjistil, že bude dobré problém rozdělit na dvě části. Tou první bude samotná realizace, naprogramování aplikace. Druhou částí bude příprava a návrh způsobu zpracování dostupných dat pro výpočty náhradních hodnot. Zatímco první problém se stává rutinní záležitostí, ten druhý byl poněkud složitější a vyžádal si dost času hlavně na jednotlivá experimentování s daty. Prvotní plán, který spočíval v jednoduchém vypočtení náhradních hodnot na základě surových naměřených dat ze solárního čidla, plochy fotovoltaických panelů a udávané účinnosti, vzal rychle za své.

První grafické náhledy na data v aplikaci ProLiteGraph, kterou jsem pro tento účel vyrobil, mi jasně začaly vykreslovat jednotlivé souvislosti, které bylo nutné do operací nahrazování zapracovat. Těmito souvislostmi hlavně byly polohové vztahy mezi fotovoltaickými panely a Sluncem, vlastnosti globálního záření a vliv teploty. Další velmi důležitou souvislostí je pochopení datových operací v samotném elektroměru, jak měří a zaznamenává dodávaný výkon.

Po vyhodnocení a analýze výše zmíněných aspektů jsem si připravil experimentální program, který prováděl simulované výpočty výroby elektrické energie pro danou elektrárnu. Z výsledků vyplynul další problém a tím je účinnost fotovoltaických panelů na jednotlivé složky slunečního záření. V tomto problému jsem dospěl k tomu, že udávané účinnosti jednotlivých typů panelů a výrobců jsou informativní a většinou se velmi liší od reality. Účinnosti na difúzní složky jsem v technických listech panelů nenašel.

Proto jsem výpočetní program upravil tak, aby vyhledal pro každou časovou periodu optimální kombinaci účinností na jednotlivé složky podle dodané energie na elektroměru a energie Slunce. I přes uspokojivé výsledky algoritmu musím konstatovat, že není toto řešení zcela optimální. K optimálnímu řešení by se dalo přiblížit provedením měření elektrických charakteristik panelů a současným měřením povětrnostních podmínek. Solární meteorologické informace by měly být sbírány v bezprostřední blízkosti každé výrobní. I malé lokální vzdálenosti zanášejí zkreslení. Dalším problémem je teplotní závislost fotovoltaických panelů. Tento jev je velmi markantní a projevuje se naprosto kontraproduktivně. Cirka 50 % výkonu slunečního záření se na fotovoltaickém panelu přemění na teplo a tím se snižuje účinnost přeměny energie v desítkách procent.

Zde vidím potřebu dalšího vyhodnocování. Aby byl tento problém optimálně řešen v rámci výpočtů náhradních hodnot, bylo by nutné realizovat podrobná měření pro konkrétní elektrárnu. Do teplotní rovnice elektrárny vstupuje velké množství parametrů, které jsou specifické „kus od kusu“.

Za předpokladu, že evropský energetický průmysl se bude ubírat cestou masivních aplikací alternativních zdrojů s kombinací Smart Grids, je bezpodmínečně nutné výše popsané problémy důkladně rozpracovat. Současná energetická síť je totiž stavěna pro stabilní a velmi setrvačné zdroje, u kterých jsme schopni predikovat a řídit. Naproti tomu fotovoltaická elektrárna je naprosto nestabilní zdroj a jak z této práce vyplývá, bez přesných parametrů jednotlivých elektráren nelze řádně nahrazovat data v minulosti, natož predikovat. A Smart Grids je právě hlavně o predikci a řízení těchto zdrojů. Nemluvě o

tom, že již existující instalace nejsou sestaveny optimálně a to z dotačních důvodů, kdy výtěžnost zdroje se stává druhořadou. Pak přesná parametrizace každé výrobní jednotlivě se stává naprostou nutností.

12.1 Krátkodobé výpadky naměřených hodinových průběhů výkonu

Tento bod je splněn aplikační funkcionalitou. Funkcionalita je realizována automatickou změnou statusu časové periody s patřičným záznamem v deníku událostí. Nebo je možné vybrat z dalších nahrazovacích metod.

12.2 Dlouhodobé výpadky naměřených hodinových průběhů výkonu

Nejdříve jsem musel připravit vstupní data pro tuto funkcionalitu. Vycházel jsem z reálných dat meteorologické stanice v místě fotovoltaické elektrárny a z naměřených dat na elektroměru fotovoltaické elektrárny. Připravil jsem si program pro grafické zobrazování těchto dat ProLiteGraph. Pomocí tohoto programu jsem prováděl experimenty s daty, kdy jsem postupně vyladoval algoritmy pro simulace měření elektroměru a vlivy rozdělení slunečního záření na přímé a difúzní. Postupně se začínaly křivky vypočítaných a naměřených hodnot k sobě blížit. Poté co jsem do algoritmu zapracoval teplotní závislost, jsem dospěl k optimálním výsledkům. Následně jsem dle výsledků z předchozích experimentů vyrobil finální algoritmus, pomocí kterého jsem vytvořil etalon a nahrazovací algoritmus, který s etalonem pracuje.

12.3 Zohlednit počasí a roční či denní období

Primárními datovými vstupy do operace nahrazování jsou aktuální data ze solárního čidla a průměrné teploty pro dané místo. Dále jsou ve výpočtu zohledněny úhly dopadu slunečního záření, které jsou vypočteny z pozic Slunce na obloze. Sluneční záření je rozděleno do složek přímého, difúzního a reflexního záření. Toto rozdělení charakterizuje mimo jiné jasnost oblohy – mraky. Tímto jsou v procesu zohledněny faktory počasí a denní doby.

12.4 Pro odesílání dat respektovat směrnice OTE ČR

Hlavním úkolem práce bylo nalézt algoritmus pro nahrazování chybějících odečtových dat fotovoltaických elektráren. Programy, které tento algoritmus realizují, jsem zpracoval do podoby webových služeb, aby byly snadno integrovatelné do stávajících odečtových systémů distribučních společností. Tyto společnosti mají k dispozici software, který je schopen odečtová data dále zpracovat a odeslat operátorovi trhu. Nicméně já jsem si zadal za úkol, že výsledná aplikace bude obsahovat i tu část, která připraví odečtená data do formátu kompatibilního s operátorem trhu. A to z toho důvodu, aby tuto aplikaci mohli používat i samotní provozovatelé fotovoltaických elektráren, kteří většinou nevládní žádný speciální software. Vytvořená aplikace je tak schopna pokrýt celý proces od zpracování dat z elektroměru, nahrazení chybějících dat a přípravu souboru s formátem OTE. Tento soubor je již možné odeslat např. přes komunikační portál operátora.

13. Definice základních pojmů

Pojem	Definice
Albedo	Míra odrazivosti zemského povrchu. Jde o poměr dopadajícího slunečního záření k odraženému.
AM1,5	(anglicky Air Mass) definuje sloupec atmosféry, kterým prochází sluneční záření k zemskému povrchu. Číslo 1,5 definuje výšku Slunce nad obzorem 41.5°. Tato hodnota je charakteristická pro nejvíce obydlená místa na Zemi.
Datalogger	Elektrické zařízení, které ukládá v reálném čase měřené fyzikální veličiny např. teplotu do své paměti.
Difúzní záření	Záření, které vzniká rozptylem přímého záření v mracích a na částicích vody a prachu v atmosféře. Jedná se o tzv. záření oblohy.
Distribuční společnost	Společnost, která provozuje elektrickou rozvodnou síť.
Dopadový úhel	Úhel dopadu slunečního záření na nakloněnou rovinu – fotovoltaický panel.
Elektroměr	Elektrický měřicí přístroj, který měří dodanou elektrickou energii do distribuční soustavy.
Fotovoltaická elektrárna	Zdroj elektrické energie, který využívá k výrobě elektrické energie fotoelektrický jev.
Fotovoltaický panel	Zařízení na přímou přeměnu slunečního záření na elektrickou energii.
Globální záření	Přímé sluneční záření + záření rozptýlené v atmosféře + záření odražené od mraků + záření odražené od zemského povrchu.
Informační systém	Soubor prostředků a metod pro zpracování a uchování dat za účelem tvorby prezentace informací pro potřeby uživatelů. Pro náš případ to může být např. seznam všech elektroměrů namontovaných na odběrných místech.
Měrná tepelná kapacita	Měrná tepelná kapacita je fyzikální veličina, která vyjadřuje potřebné množství dodaného tepla, kterým se těleso o hmotnosti 1 kg ohřeje o 1 °C.
Normálová teplota	Teplota v °C, při které se udává účinnost přeměny fotovoltaického panelu.
Odběrné místo	Např. dům, byt, továrna, kde dochází ke spotřebě elektrické energie.
Odečítač	Pracovník, který je vybaven přenosným počítačem. Dochází k jednotlivým elektroměrům a pomocí přenosného počítače sbírá odečty z elektroměru.

Pojem	Definice
Odečtová centrála	Softwarová aplikace, která řídí a organizuje proces odečtů, kontroluje odečtená data, předává a sbírá data z přenosných počítačů odečítačů.
Odrazné záření	Přímé záření, které se odrazí od zemského povrchu.
Optické rozhraní	Komunikační rozhraní, které je hardwarově realizováno pomocí optických členů, které převádí světelný signál na elektrický.
Profilové odečty	Hodnoty elektrického výkonu dodaného do distribuční soustavy v reálném čase. Každých 15 minut elektroměr uloží hodnotu výkonu. Odečítač tyto hodnoty „odečte“ z elektroměru pomocí přenosného počítače a optického rozhraní.
Přímé záření Smart Grids	Záření, které přímo pronikne atmosférou a dopadne na povrch Elektrická rozvodná síť, která umožňuje regulovat výrobu a spotřebu elektrické energie v reálném čase. Jejím principem je interaktivní obousměrná komunikace mezi elektrárnami a odběrnými místy o aktuálních možnostech výroby a spotřeby elektrické energie.
Solární (sluneční) konstanta	Energie slunečního záření dopadajícího kolmo na plochu 1 m ² mimo zemskou atmosféru ve střední vzdálenosti Slunce – Země.
Středisko organizace	Organizace provádějící odečty působí na velkém území např. celý kraj. V jednotlivých okresech má střediska, do kterých dochází odečítači.
Technik odečtů	Vedoucí pracovník, který má na starost skupinu odečítačů a obsluhuje odečtovou centrálu.
Teplotní setrvačnost	Doba, po kterou dochází k nárůstu nebo poklesu teploty tělesa po změně energetických podmínek na těleso působících do okamžiku ustálení.
Utilitní společnost	Organizace, která se zabývá prodejem, nebo distribucí elektrické energie (např. ČEZ, EON).

14. Použité zkratky

Zkratka	Význam
CDS	Centrum datových služeb
CSV	Hodnoty oddělené čárkami (comma separated values), jednoduchý formát dat v souboru
DB	Databáze
DBF	dBase, systém řízení báze dat, soubor s tabulkou dat
DLL	Dynamicky linkovaná knihovna (dynamic link library)
DM	Správa přístrojů (Device management)
DS	Distribuční soustava, elektrická rozvodná síť (stožáry, vedení)
EAN	celosvětový systém kódování a identifikace zboží, služeb a organizací (European Article Number)
EDIS	Energetický datový identifikační systém
EDM	Energy data management
EXE	Spustitelný počítačový program (executable)
FTV	Fotovoltaický
FV	Fotovoltaický (např. panel)
GPRS	Služba pro přenos dat pomocí mobilních telefonů (General Packet Radio Service)
GPS	Globální poziční systém
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci (Groupe Spécial Mobile)
GUI	Grafický uživatelský interface
HTTP	Internetový protokol (Hypertext Transfer Protocol)
IIS	Internetová informační služba (Internet information service), webový server
ISU	Řešení pro utility (SAP Industry Specific Solution)
MMR	Manuální odečty (manual meter reading)
MMRC	Centrála manuálních odečtů Oregon (manual meter reading central Oregon)
MS	Microsoft
MVE	malá vodní elektrárna
NN	Nízké napětí
OBIS	Kód pro identifikaci veličiny přístroje (Object Identification System)
ODBC	Rozhraní pro přístup k databázovým systémům (Open Database Connectivity)
OZE	společnost Operátor trhu s elektřinou ČR, a.s.
OZE	obnovitelné zdroje
PDA	Osobní přenosný počítač
PL/SQL	Procedurální nadstavba jazyka SQL (Procedural Language/Structured Query Language)

Zkratka	Význam
SAP	Utilitní zákaznický systém (Systeme, Anwendungen, Produkte in der Datenverarbeitung)
SOAP	Protokol pro výměnu zpráv založených na XML, volání vzdálených objektů (Simple Object Access Protocol)
UML	grafický jazyk pro vizualizaci, specifikaci, navrhování a dokumentaci programových systémů.
VDEW	Spolek německých energetických společností (Verein der Deutschen Elektrizitätswerke)
VFP	Visual FoxPro
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
WS	Webová služba (web service), umožňuje po Internetu obsluhovat vzdálené aplikace
XI	SAP modul pro integraci systémů (Exchange Infrastructure)
XML	Rozšiřitelný značkovací jazyk (Extensible Markup Language)
ZIS	Zákaznický informační systém

15. Seznam literatury

[1] **Quasching, Volker.** *Understanding Renewable Energy Systems.* USA : Press, 2005. ISBN 1-84407-128-6.

[2] **Vesselinka Petrova-Koch, Rudolf Hezel, Adolf Goetzberger.** *High-Efficient Low-Cost Photovoltaics.* Berlin : Springer Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-540-79359-5.

[3] **jev, Fotoelektrický.** *Fotoelektrický jev.* Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1975.

[4] **Godfrey, Boyle.** *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future.* London : OUP, 2004. ISBN 0-19-926178-4.

[5] **Republika, MPO - Ministrestvo průmyslu a obchodu Česká.** *Energetická vyhláška č. 82/2011 Sb. měření elektrické energie.* Praha : autor neznámý, 2011.

[6] **SAP, a.g.** Sap software & solutions. *SAP.* [Online] 01. 03 2015. [Citace: 01. 03 2015.] <http://go.sap.com/index.html>.

[7] **Republika, MPO - Ministerstvo průmyslu a obchodu Česká.** Ekonomické posouzení všech dlouhodobých přínosů a nákladů pro trh a jednotlivé zákazníky při zavedení inteligentních měřicích systémů v elektroenergetice ČR. 2014.

[8] **SAP, a.g.** SAP Exchange Infrastructure. *SAP solutions .* [Online] SAP, 2014. [Citace: 10. 02 2014.] http://help.sap.com/saphelp_nw70ehp2/helpdata/en/14/80243b4a66ae0ce10000000a11402f/frameset.htm.

[9] **Dis., Václav Šesták.** Meteorologická data Nová Pec. *Nová Pec.* [Online] 03. 01 2015. [Citace: 01. 03 2015.] <http://www.novapec.cz/index.htm>.

[10] **Polívka, Ing. Jiří.** FEL Západočeská univerzita. *FEL.* [Online] 09 2014. http://www.fel.zcu.cz/uredni-desky/UD_PhD/Probihajici_SDZ_a_obhajoby/Autoreferaty/140707_autoreferat_Polivka_Jiri.pdf.

[11] **Corporation, Microsoft.** MSDN. *Visual Foxpro Development center.* [Online] Microsoft, 03. 01 2012. [Citace: 01. 03 2015.] <https://msdn.microsoft.com/en-us/vfoxpro/bb190225.aspx>.

[12] **Šindler, Bc. Roman.** VUT Brno, digitální knihovna. *VUT Brno*. [Online] 2010. <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/15241>.

[13] **OTE, a.s.** OTE. *OTE*. [Online] 02 2015. <https://www.ote-cr.cz/dokumentace/dokumentace-elektrina>.

[14] **J., Polívka.** *Energy Storage in Smart Grids, Electric Power Engineering and Ecology - Selected Parts I*. Praha : Technická literatura Praha, 2011. ISBN 978-80-7300-417-0.

[15] **Ullmann, RNDr. Vojtěch.** AstroNuklFyzika. *Nukleární fyzika*. [Online] Ullmann, 12 2014. <http://astronuklfyzika.cz/>.

[16] **SPIE.** SPIE digital library. *Spie* . [Online] Spie, 11 2014. <http://spiedigitallibrary.org>.

[17] **Wikipedie.** RS232. *Wikipedie RS232*. [Online] MediaWiki, 09 2014. <http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-232>.

[18] **Prof. Ing. Vítězslav Benda, CSc.** Fotovoltaické systémy. *Slideserve*. [Online] 2007. <http://www.slideserve.com/kadeem-hansen/fotovoltaick-syst-my-a5m13vso-soubor-p-ednek>.

16. Seznam obrázků

Obrázek 1: Hlavní úkol- nahrazení dat a naznačené řešení.	6
Obrázek 2: Závislost kinetické energie elektronu na energii dopadajícího fotonu. [16]	10
Obrázek 3: Závislost E_k elektronu na frekvenci dopadajícího fotonu.	10
Obrázek 4: Panely typu YL230P-29b polykrystal, lokace Sunny stream Prachatice.	12
Obrázek 5: Detail panelu. Sběrné vodiče zastiňují nemalou část aktivní plochy.	12
Obrázek 6: Čistý zdroj dodává všechnu energii do DS.	14
Obrázek 7: Částečný zdroj dodává přebytečnou energii do DS.	14
Obrázek 8: Ostrovní provoz.....	14
Obrázek 9: Průmyslový měnič SUNNY TRIPOWER 15000, max. účinnost 98 %.....	14
Obrázek 10: Procesní schéma odečtů v distribuční společnosti.	15
Obrázek 11: Rozbor procesu Profilové odečty elektroměrů.....	16
Obrázek 12: Elektroměr DC4/6Q s přiloženou optickou sondou.	17
Obrázek 13: Přenosný počítač Motorola MC70, používaný pro odečty elektroměrů.	17
Obrázek 14: Rozbor procesu Zpracování odečtů.....	18
Obrázek 15: Znázornění integrace aplikace "ProLite".	19
Obrázek 16: Use case model aplikace ProLite.	20
Obrázek 17: Vstupní data.	22
Obrázek 18: Aplikované solární čidlo, jeho umístění na stožáru.	23
Obrázek 19: V/A charakteristika monokrystalického panelu v závislosti na teplotě.[10]...24	24
Obrázek 20: Poměrný výkon vztažený k teplotě 20°C. [10]	24
Obrázek 21: Procesy v činnosti úpravy dat.	26
Obrázek 22: Anomálie v solárních datech tzv. Kočičí hlava.	28
Obrázek 23: Definice úhlů pozice Slunce. [12].....	31
Obrázek 24: Grafické znázornění výpočtu dopadového úhlu. [12].....	32
Obrázek 25: Schéma rozdělení E_0 . [18]	33
Obrázek 26: Ukázka z ProLiteGraph, 28.6.2011 červená křivka - FTV, zelená - výpočet..36	36
Obrázek 27: Ukázka z ProLiteGraph, 8. 9. 2011 hnědá křivka - FTV, zelená - výpočet....36	36
Obrázek 28: Funkční dekompozice činnosti Úložiště.	38
Obrázek 29: Funkční dekompozice činnosti Zpracování etalonu.....	39
Obrázek 30: Ukázka z programu ProLiteGraph, etalon pro výkon 3000 W.....	42
Obrázek 31: Ukázka z programu ProLiteGraph, etalon pro výkony v době 08:30-08:45...42	42
Obrázek 32: Funkční dekompozice - Nahrazování dat.....	43
Obrázek 33: Schéma validace profilových dat.	44
Obrázek 34: Diagram nahrazení chybějících dat.....	46
Obrázek 35: Proces přípravy zprávy pro OTE.....	47
Obrázek 36: Graf % odchylky od naměřených hodnot.....	50

Obrázek 37: Výřez z ProLiteGraph ukazuje nahrazená data pro den 25.02.2014.....	51
Obrázek 38: Výřez z ProLiteGraph ukazuje úsek, který byl nahrazen aplikací ProLite.	51
Obrázek 39: Informace pro obsluhu.	52
Obrázek 40: Výřez z aplikace ProLite, modrá jsou nahrazená data, dlouhý výpadek.....	53
Obrázek 41: Výřez z aplikace ProLite, nahrazování krátkých výpadků.....	53
Obrázek 42: Technické řešení aplikace ProLite.....	55

17. Seznam tabulek

Tabulka 1: Chyby, které proces kontroluje a odstraňuje.....	28
Tabulka 2: Seznam operací v procesu Přepočty sluneční záření.	30
Tabulka 3: Přehled hodnot Albeda. [12]	34
Tabulka 4: Seznam klíčových tabulek v úložišti.....	38
Tabulka 5: Ukázka struktury etalonu.	41
Tabulka 6: Ukázka statusů z provozního deníku elektroměru.	43
Tabulka 7: Kroky v operaci kontroly úplnosti dat, validace.....	44
Tabulka 8: Vstupní proměnné do výpočtu náhradní hodnoty.	45
Tabulka 9: Kroky v procesu nahrazení chybějících čtvrt hodin.	45
Tabulka 10: Výsledky testu výpočtu náhradních hodnot.....	49
Tabulka 11: Data pro graf na obrázku 37.....	50
Tabulka 12: Testovací scénář procesu nahrazení.	52

18. Seznam příloh

Akvizice_energetickych_dat.pdf – Text bakalářské práce ve formátu pdf.

ScreenShots.pdf – Obrazová příloha, kopie obrazovek z aplikace ProLite a ProLiteGraph.

18.1 Zdroje_dat

Obsahuje surové datové zdroje z meteorologické stanice a ISU.

Edm_profiles.rar – zdrojová data s naměřenými hodnotami z FTV výroben, pomocné dbf tabulky

Solar_data.rar – surová data ze solárního čidla

Data.rar – finalizovaná data ve formátu dbf. Data jsou potřebná pro provoz systému nahrazování

18.2 Aplikace

Obsahuje instalační balíček aplikace.

18.2.1 Dokumentace

Obsahuje instalační pokyny, použité diagramy, diagramy tříd.

18.2.2 Wsdl

Wsdl soubory pro implementaci webové služby na IIS.

18.2.3 Test

Obsahuje testovací protokol dostupnosti webové služby.

18.2.4 Zdrojove_kody

Obsahuje zdrojové kódy k aplikaci.