

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra měření

Diplomová práce

ADIP26

**Energetický systém
administrativní budovy využívající
fotovoltaický zdroj s akumulací
energie**

Energy System of Administrative Building Using Photovoltaic Energy Source with
Energy Accumulation

Autor:

Bc. Jaroslav Struška

strusjar@fel.cvut.cz

Vedoucí práce:

Ing. Petr Wolf, PhD.

petr.wolf@cvut.cz

Diplomová práce



Praha 2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student:	Bc. Jaroslav Struška
Studijní program:	Inteligentní budovy
Název tématu česky:	Energetický systém administrativní budovy využívající fotovoltaický zdroj s akumulací energie
Název tématu anglicky:	Energy System of Administrative Building Using Photovoltaic Energy Source with Energy Accumulation

Pokyny pro vypracování:

Popište technologie TZB instalované ve vybrané administrativní budově. Provedte zhodnocení provozu této budovy na základě naměřených dat monitorovacím systémem (zaměřte se na spotřeby jednotlivých technologií, kvalitu vnitřního prostředí, závislost spotřeby budovy na vnějších klimatických podmínkách, výrobu energie fotovoltaickým zdrojem v závislosti na provozních podmínkách).

Popište testované režimy provozu akumulátorového úložiště této budovy (např. plně autonomní provoz, omezení odběru z distribuční sítě, řízení na základě tarifu elektrické energie). Na základě historických dat se pokuste provoz budovy zlepšit - navrhnete upravený algoritmus řízení akumulátorového systému, režim otestujete a uvedte naměřené výsledky.

Seznam odborné literatury:

- [1] Staněk K. Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada, 2012.
- [2] Wolf, P., Včelák, J. et al. Chytrá energetika pro administrativní budovu. Alternativní zdroje energie 2016. Společnost pro techniku prostředí. Kroměříž
- [3] Homer Energy Modeling Software. National renewable Energy Laboratory. Training guide
- [4] Silvestre, S., Castaner, L.: Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice. Wiley, 2002.

Vedoucí diplomové práce:	Ing. Petr Wolf, Ph.D. (UCEEB ČVUT)
Datum zadání diplomové práce:	1. února 2017
Platnost zadání do ¹ :	30. září 2018

Prof. Ing. Jan Holub, Ph.D.
vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 2. 2017

¹ Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

Prohlášení

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

Praha

.....

(podpis autora)

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petrovi Wolfovi, PhD. za jeho rady, čas a trpělivost, kterou mi věnoval při řešení dané problematiky.

Dále bych chtěl také poděkovat svým rodičům, přítelkyni a kamarádům za podporu při studiu.

Abstrakt

Fotovoltaika v České republice se změnila více na podporu malých zdrojů – RD, administrativních budov. Společným prvkem moderních systémů je pak lokální spotřeba vyrobené elektrické energie v co největší možné míře, což hybridní fotovoltaické systémy splňují.

Byla vypracovaná řešení hybridních fotovoltaických systémů, se zaměřením na novou administrativní budovu firmy Fenix Group a.s., která tento systém s úspěchem využívá. Vyhodnocení chování budovy a popis testovacích režimů vyzkoušených v budově, jsou velmi důležité k vytvoření modelu budovy v simulačním softwaru.

Klíčová slova

fotovoltaická elektrárna; hybridní fotovoltaický systém; fotovoltaický článek; elektrická energie; technologie; systém; akumulátor; solární regulátor; hybridní měnič monitoring; hybridní systém; komponenty; model; testovací režimy; administrativní budova, Fenix

Abstract

Photovoltaics in Czech Republic has changed more to support small energy sources like residential buildings, administration buildings. Modern systems has in common that produced electrical energy should be used locally as much as possible. This is what hybrid photovoltaics systems has.

It was created a research about hybrid photovoltaic systems focusing on the new administration building of company Fenix Group a.s., which uses this system with success. Evaluation of building behavior and description of test modes used in building are very important for creating simulation model of the building in simulation software.

Keywords

Photovoltaic power plant; hybrid photovoltaic power system; photovoltaic cell; electrical energy; technology; system; battery; solar charger; hybrid inverter; monitoring; hybrid system; components; model; test modes; administration building; Fenix

Obsah

1	ÚVOD	8
2	KOMPONENTY HFVE	9
2.1	FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK	9
2.2	FOTOVOLTAICKÉ PANELY	10
2.3	HYBRIDNÍ MĚNIČE	12
2.4	AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE	13
2.4.1	<i>Olověné akumulátory</i>	13
2.4.2	<i>Alkalické akumulátory</i>	14
2.4.3	<i>Lithiové akumulátory</i>	14
2.5	SOLÁRNÍ REGULÁTORY	16
3	FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	17
3.1	SÍŤOVÉ SYSTÉMY (ON-GRID).....	17
3.2	OSTROVNÍ SYSTÉMY (OFF-GRID)	18
3.3	HYBRIDNÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY (HFVE)	18
3.3.1	<i>Výhody hybridního FV systému</i>	20
4	ŘÍZENÍ HYBRIDNÍHO FV SYSTÉMU	21
4.1	PRIORITNÍ VYUŽITÍ ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ / S VYUŽITÍM SÍŤE.....	21
4.2	HYBRIDNÍ SYSTÉMY S PŘIZPŮBENÍM ZÁTĚŽE VÝKONU FVE A PREDIKTIVNÍM ŘÍZENÍ	21
5	POPIS OBJEKTU FÉNIX	22
5.1	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	22
5.2	VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ	23
5.3	ENERGETIKA V OBJEKTU	23
5.4	SYSTÉM SBĚRU DAT	25
5.4.1	<i>Měření energetických toků</i>	26
5.4.2	<i>Měření parametrů VZT jednotky</i>	26
5.4.3	<i>Měření intenzity slunečního záření</i>	26
5.4.4	<i>Měření kvality vnitřního prostředí</i>	27
5.4.5	<i>Měření kvality vnějšího prostředí</i>	27
6	POSTUP ZPRACOVÁNÍ DAT – MATLAB	28
6.1	SKRIPT PRO ÚPRAVU DAT.....	28
6.2	FUNKCE PRO ÚPRAVU DAT	28
7	VYHODNOCENÍ ENERGETICKÉHO CHOVÁNÍ BUDOVY	29
7.1	BILANCE ENERGIE	29
7.1.1	<i>Detailnější pohled – červenec 2016</i>	30
7.1.2	<i>Detailnější pohled – srpen 2016</i>	31
7.1.3	<i>Detailnější pohled – září 2016</i>	32
7.1.4	<i>Detailnější pohled – říjen 2016</i>	33
7.1.5	<i>Detailnější pohled – listopad 2016</i>	35

7.2	MĚSÍČNÍ PROFIL SPOTŘEBY BUDOVY	36
7.3	DENNÍ PROFIL SPOTŘEBY BUDOVY PODLE TYPU	38
7.3.1	<i>Detail spotřeby pro 14. 7. 2016</i>	39
7.3.2	<i>Detail spotřeby pro 6. 10. 2016</i>	39
7.3.3	<i>Detail spotřeby pro 11. 11. 2016</i>	40
7.3.4	<i>Detail spotřeby pro 5. 11. 2016 – víkendový den</i>	41
8	POPIS TESTOVACÍCH REŽIMŮ V ADMINISTRATIVNÍ BUDOVĚ	43
8.1	ŘÍZENÍ S OHLEDEM NA NT/VT	43
8.2	ŘÍZENÍ AKUMULACE PRO OMEZENÍ ODBĚROVÝCH ŠPIČEK	43
8.3	INOVACE ŘÍZENÍ POMOCÍ PREDIKCE OSVITU.....	44
9	MODEL HFVS – MATLAB & SIMULINK	46
9.1	TVORBA MODELU.....	46
9.1.1	<i>Fotovoltaický modul</i>	46
9.1.2	<i>Spotřeba</i>	49
9.1.3	<i>Bateriové uložení</i>	49
9.2	VÝSLEDKY MODELU	50
10	ZÁVĚR	52
11	PŘÍLOHA Č. 1 – BLOKOVÉ SCHÉMA ENERGETIKY BUDOVY.....	54
12	PŘÍLOHA Č. 2 - SCHÉMA MĚŘENÝCH VELIČIN V BUDOVĚ.....	55
13	PŘÍLOHA Č. 3 – BLOKOVÉ SCHÉMA DATOVÉ KOMUNIKACE.....	56
14	PŘÍLOHA Č. 4 - DENNÍ PRŮMĚRNÁ SPOTŘEBA PODLE TYPU ZAŘÍZENÍ	57
15	PŘÍLOHA Č. 5 - MODEL HFVS V PROGRAMU SIMULINK	59
15.1	CELKOVÝ POHLED NA MODEL	59
15.2	MODEL BATERIOVÉHO ULOŽENÍ	60
15.2.1	<i>Discharging decider / Chargingdecider</i>	60
16	SEZNAMY	62
16.1	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
16.2	SEZNAM TABULEK	63
16.3	SEZNAM ROVNIC.....	63
16.4	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
17	REFERENCE	65

1 Úvod

Otázka obnovitelných zdrojů je již celou řadu let v popředí zájmu a bude tomu tak určitě i v dalších letech. Momentálně poněkud méně „in“ jsou však fotovoltaické elektrárny. Ty byly v poslední době na ústupu, protože skončila podpora výkupu elektrické energie z těchto systémů. Dále tedy vznikají především malé FVE, které jsou většinou umístěny na střechách domů. Proto se také objevují stále častěji hybridní fotovoltaické elektrárny, které podporují vlastní spotřebu elektrické energie přímo v místě výroby, a navíc mají tu výhodu, že se dům, případně kancelářská budova, může stát částečně nezávislou na distribuční síti. Díky akumulaci je totiž zajištěna záloha elektrické energie i v případě výpadků distribuční sítě. V této práci se tedy podíváme blíže na hybridní fotovoltaické systémy – HFVS s akumulací elektrické energie.

Tato práce si klade za úkol zpracovat řešerši těchto hybridních fotovoltaických systémů a jejich komponent. Hlavním cílem práce je však administrativní budova firmy Fenix Group a.s. se sídlem v Jeseníku. Jedná se o unikátní budovu nejen v rámci naší republiky ale i v rámci světového měřítka. Neexistuje mnoho podobných budov. Výhodou budovy Fenix Group je úzká spolupráce s Univerzitním centrem energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. Díky této spolupráci, byla budova otestována v mnoha režimech provozu a díky ní bylo získáno velké množství zajímavých dat. V této práci se s budovou seznámíte jak z hlediska konstrukčního, tak z hlediska technologického.

Dalším úkolem je shromáždit a upravit data z monitorovacího systému, která byla zatím zaznamenána v provozu budovy a zpracovat je v programu MATLAB R2017a. Tím získáme přehled o chování budovy, bilanci spotřeby, závislost spotřeby na okolní teplotě atd. Díky tomu, že se jedná prakticky o „testovací budovu“, která slouží také k výzkumu, bylo zde v průběhu provozu aplikováno několik testovacích režimů, které si více přiblížíme a jeden z režimů vymodelujeme v simulačním programu Simulink.

2 Komponenty HFVE

Hybridní systémy jsou tvořeny klasickou fotovoltaickou instalací, akumulací částí systému a druhým nebo záložním zdrojem energie. Jako záložní zdroj může být použita například distribuční síť nebo diesel agregát.

Obecně se HFVE skládá z následujících částí:

- Fotovoltaické panely
- Hybridní měnič – plynule přepíná mezi FV polem, záložním zdrojem nebo distribuční sítí a akumulátory
- Akumulátory elektrické energie
- Regulátor nabíjení
- Čidla měření

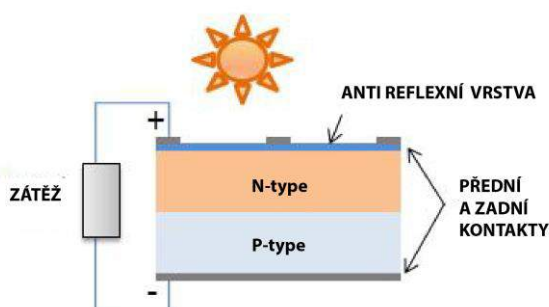
2.1 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek je vyroben z polovodičového materiálu, který přeměňuje dopadající záření na elektrickou energii. Jeho princip spočívá v tzv. fotovoltaickém jevu. Články jsou nejčastěji vyrobeny z křemíku.

Foton absorbovaný polovodičovým materiálem zvyšuje energii valenčního elektronu a může jej uvolnit do vodivostního pásu. Tato situace nastává, když má foton větší energii než, která je nutná k překonání zakázaného pásu. Elektron ve vodivostním pásu poté produkuje proud, který se pohybuje skrz polovodičový materiál. Velikost proudu ve fotovoltaickém článku při dané teplotě závisí především na dvou parametrech dopadajícího světla:

- Intenzita dopadajícího světla
- Vlnová délka dopadajících paprsků

Obrázek 2.1 - Průřez fotovoltaickým článkem [1]

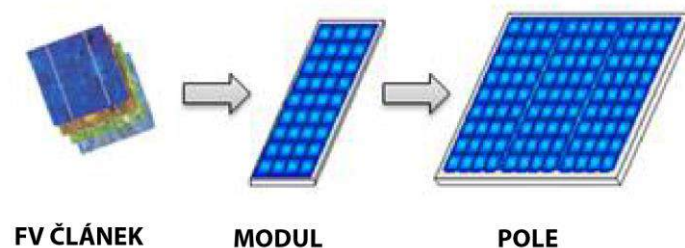


Materiály použity ve fotovoltaických článcích mají různé spektrální odezvy na dopadající světlo a vykazují různou citlivost vzhledem k absorpci fotonů v daných vlnových délkách. Každý polovodičový materiál má svou vlastní prahovou frekvenci dopadajícího záření. Pod touto frekvencí nejsou žádné elektrony ovlivněny fotovoltaickým efektem. Nad prahovou frekvencí závisí kinetická energie emitovaného fotoelektronu¹ na vlnové délce dopadajícího záření. Zvyšování intenzity dopadajícího záření poměrně zvyšuje rychlost emise fotoelektronů. V reálném světě je záření absorbované fotovoltaickým článkem složeno z přímého slunečního záření a difuzního slunečního záření, odraženého od okolních povrchů. [1]

2.2 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely představují soubor mnoha fotovoltaických článků uložených do ochranného rámu a obalu. Mezi nejvyužívanější typ panelů patří krystalické křemíkové panely, které jsou dále podrobněji popsány. Křemíkové panely jsou složeny ze sérioparalelně spojených fotovoltaických článků.

Obrázek 2.2 - Princip spojování článků do modulů (panelů) a modulů do polí [1]



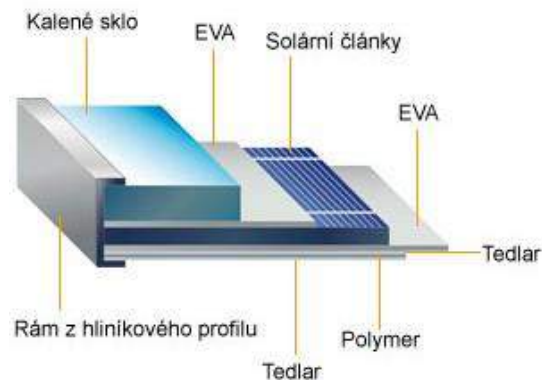
Typická délka strany fotovoltaického článku je 6"². Čím je článek větší, tím dokáže vyrobit víc proudu, napětí ovšem zůstává konstantní – 0,6 V. K praktickému využití elektrické energie je zapotřebí napětí mnohem vyšší. Z toho důvodu jsou články zapojovány převážně do série, čímž se výstupní napětí zvýší. K nabíjení 12 V akumulátoru

¹ Fotoelektron – elektron uvolněný fotovoltaickým jevem

² 6" – 6 palců, což se rovná zhruba 156 mm

je tedy potřeba sériové zapojení 32 až 40 článků. Protože jsou solární články velmi křehké a náchylné na vlhkost a korozi, je nutné je před okolními vlivy chránit. Proto se články ukládají do speciálního plastového lože z ethylenvinylacetátu³, tzv. EVA fólie a do skleněného čelního krytu. Při teplotě 100 °C se pomocí laminování spojují články s fólií a fólie se sklem. Zadní strana bývá opatřena chránicí tedlarovou fólií někdy ale také skleněným krytem. FV modul musí zajistit hermetické zapouzdření článků tak, aby byly FV články chráněny před vlivy okolního prostředí. Musí zajistit dostatečnou klimatickou a mechanickou odolnost, zejména proti krupobití, silnému větru, mrazu, vlhkosti a

Obrázek 2.3 - Průřez fotovoltaickým panelem [30]



nečistotám. Dále pak spojovacím rámem, kde je uloženo vedení pro propojení článků a ochranné diody (nejčastěji dvě). Jedna slouží pro ochranu při sériovém zapojení několika panelů, kdy při jejich nerovnoměrném zastínění může dojít působením proudu z osvětlených panelů k jeho poškození. Díky tzv. bypassové diodě je možné zastíněná místa překlenout. Druhá dioda zajišťuje, že při nedostatečném osvětlení panelů, zapojených paralelně, nedochází k zpětnému vybíjení akumulátorů do panelů. Tuto ochranu však většinou zajišťuje solární regulátor. FV panel má největší výkon při standardních podmínkách⁴ ozáření 1000 W/m², množství vzduchu AM 1.5 a teplotě článků 25 °C. V dnešní době se vyrábí panely od desítek W do cca 290 W. Životnost kvalitních FV panelů dosahuje až 30 let, přičemž renomovaní výrobci garantují minimální procentuální výkon po dobu celé životnosti. Ideální orientace FV panelů v ČR je na jih se

³ Ethylenvinylacetát (EVA) – známý také jako polyethylenvinylacetát (PEVA). Tento materiál má dobrou čistotu a lesk, nízkoteplotní houževnatost, odolnost proti stresu, trhlinám, vyšším teplotám, má nepromokavé vlastnosti a odolnost vůči UV záření.

⁴ tzv. standardní testovací podmínky - STC

sklonem okolo 35°. Při odklonu od jihu o $\pm 45^\circ$ klesne výkon elektrárny okolo 5 %. Další možností je použít systémy s pohyblivým stojanem, které značně zvyšují účinnost. [2]

2.3 Hybridní měniče

Všechny fotovoltaické generátory pracují se stejnosměrným proudem. Aby bylo možno vyrobenou elektrickou energii dále zpracovávat, je třeba přeměnit stejnosměrný proud na střídavý a upravit napětí tak, aby odpovídalo systémovému napětí ostrovní nebo rozvodné sítě. Měníče napětí pro fotovoltaiku mění stejnosměrné napětí a proud z FV panelů na střídavé napětí a proud, jaké jsou obvyklé v rozvodné síti ($U_{ef} = 230/400V\sim$, $f = 50$ Hz). Hybridní měniče umí pracovat současně v on-grid (grid-tie) a zároveň v off-grid režimu. Hybridní měniče napětí jsou tedy na rozdíl od ostrovního měniče, který pouze přepíná mezi provozem z akumulátorů nebo sítí, schopny plynule a současně v reálném čase regulovat množství energie odebírané ze sítě nebo z akumulátorů. Hybridní měniče napětí jsou prokazatelně galvanicky odděleny od distribuční soustavy (DS), lze u nich zcela zamezit přetokům do distribuční soustavy (je-li to požadováno), nijak negativně neovlivňují DS, nehrozí žádné rušení DS vyššími harmonickými frekvencemi. [3] [4] [5]

Hybridní střídač má mnoho možností, jak lze nastavit. Může například během dne ukládat přebytky vyrobené energie z fotovoltaiky do akumulátorů a vyrovnat tak vyšší

Obrázek 2.4 - Hybridní měniče (Studer, Victron)



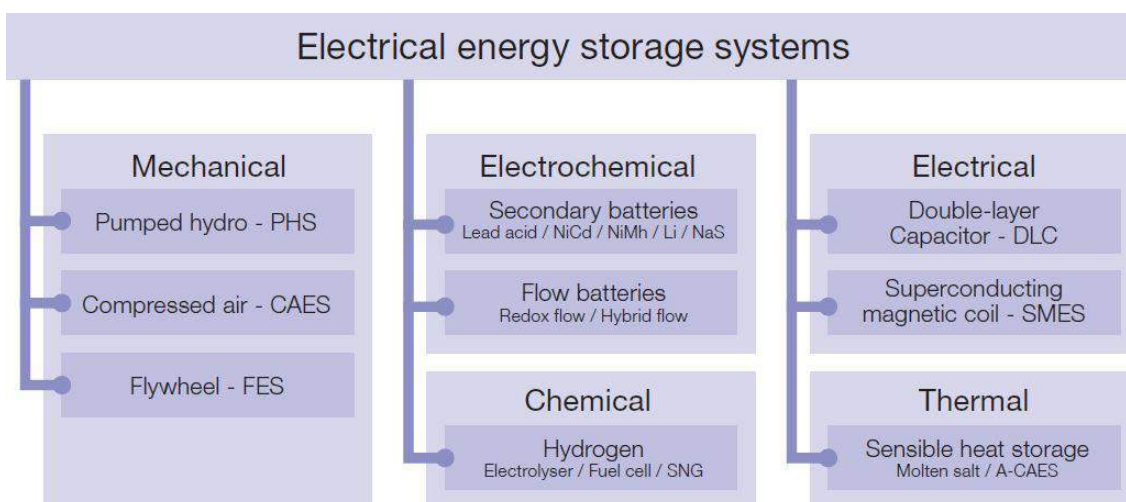
nároky na elektřinu během dne nebo v noci. Pokud distribuční síť postihne výpadek – tzv. blackout, hybridní inverter se galvanicky odpojil od distribuční sítě a vytvoří tzv. mikro off-grid (ostrovní) síť. V současné době se na trhu nachází řada měničů, které

můžeme opravdu označit za měniče hybridní. Jedná se především o měniče firmy Schneider Electric - Xantrex, Studer Innotec z řady Xtender, ale také mnohé další. [3]

2.4 Akumulace elektrické energie

Široce používaný přístup rozdělení systémů uložení elektrické energie je založen na formě použité energie. V Obrázek 2.5 - Typy uložení elektrické energie jsou systémy uložení elektrické energie rozděleny do 5 podskupin – mechanická, elektrochemická, chemická, elektrická a tepelná. V této práci se zaměříme především na elektrochemické akumulátory.

Obrázek 2.5 - Typy uložení elektrické energie [6]



2.4.1 Olověné akumulátory

Olověné akumulátory pracují na principu, který je znám déle než 150let. Jedná se o nejstarší typ baterie a byla vynalezena v roce 1859 Gastonem Plantem. Akumulátor jsou složeny z olověných desek (anoda a katoda), které jsou v páru. Desky jsou ponořeny do nádoby, která obsahuje roztok kyseliny sírové. Při nabíjení se dodávaný nabíjecí proud z jiného zdroje se mění elektrická energie v chemickou energii a během vybíjení se akumulovaná energie mění na elektrickou a je dodávána zpět do elektrického odvodu, kde je akumulátor zapojen. Záporná elektroda je katodou během vybíjení a anodou během nabíjení. Při vybíjení reaktant oxiduje a volné elektrony předává záporné elektrodě. Kladná elektroda je anodou během vybíjení katodou během nabíjení. Při vybíjení zde dochází k redukci reaktantu volné elektrony reaktant přijímá z kladné elektrody. Deskové akumulátory se zaplavenou konstrukcí se vyznačují příznivou cenou,

kolem 1250 Kč⁵/kWh. Nevýhodou však je malá hustota energie na jednotku provozu (50 Wh/dm³) a životnost je také malá v rozmezí 0,5 – 3 roky (záleží na provozních podmínkách). Napětí článku se pohybuje v rozmezí 1,75 V - 2,125 V. Nominální napětí článku je 2 V, při měření naprázdno. Jako nevýhodu lze brát ekologickou zátěž v podobě *Pb* a *Cd* a jejich hmotnost. [7]

2.4.2 Alkalické akumulátory

Do skupiny alkalických akumulátorů patří převážně články na bázi niklu. Hlavním znakem je využití KOH – hydroxidu draselného jako elektrolytu. Alkalické akumulátory se dělí podle použití aktivních hmot kladných a záporných elektrod.

Tabulka 1 - Srovnání alkalických akumulátorů [8]

Typ akumulátoru	Ni-Cd	Ni-MH	Ni-Fe
Měrná energie [Wh/kg]	45 - 80	60 - 120	30 - 50
Měrný výkon [W/kg]	100-200	200	100
Počet cyklů [-]	1500	500 - 1000	1000
Provozní teplota [°C]	-40 až +60	- 20 až + 60	- 40 až + 50
Účinnost [%]	< 80	< 75	> 65
Samovybíjení [% za měsíc]	20	30	20 - 30
Jmenovité napětí [V]	1,2	1,2	1,2

2.4.3 Lithiové akumulátory⁶

Li-ion akumulátor je nejrozšířenější v oblasti komerční elektroniky. Hlavním důvodem oblíbenosti je velká hustota energie, žádný paměťový efekt a velmi malé samovybíjení. Li-ion můžeme zařadit mezi mobilní akumulátory pohybující se v řádech jednotek Wh až po stacionární systémy schopny uskladnit stovky kWh.

Li-ion pracuje na principu přenosu lithiového iontu Li⁺ při vybíjení ze záporné elektrody na kladnou, při nabíjení inverzně, prostřednictvím bezvodého elektrolytu. Elektrolytem je nejčastěji LiPF₆⁷, v nepolárním organickém rozpouštědle a záporná elektroda je vyrobena z uhlíkového materiálu. U Li-ion je elektrolyt pouze nositelem

⁵ Přepočteno z 50€, kurzem 25 Kč/€

⁶ Lithiové akumulátory jsou v podstatě podtypem alkalických, zde jsou však rozděleny

⁷ LiPF₆ - Lithium hexafluorofosfát

iontů. Tento děj je odlišný od jiných akumulátorů, kde hraje hlavní roli při tvorbě chemické vazby elektrolyt.

LiCoO_2 – představuje nejpoužívanější materiál katody, využívá se v mobilních telefonech, laptotech. Poskytuje průměrnou kapacitu a životnost více jak 500 cyklů. Je méně chemicky a teplotně stabilní než ostatní typy Li-ion. Při průrazu a následném vnitřním zkratu hrozí požár.

LiMn_2O_4 – poskytuje vyšší napětí, je stabilnější než LiCoO_2 , naopak má o 20 % menší hustotu energie. Tento akumulátor je již bezpečnější a méně toxický. Dokáže pracovat při vyšších teplotách a zároveň náklady na výrobu jsou nižší.

$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ – u tohoto typu baterie je nahrazena grafitová anoda anodou $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Tento materiál se používá často ve spojení LiMn_2O_4 , nicméně je kompatibilní se všemi druhy kladných elektrod. Disponuje velkým rozsahem teplot, vysokým počtem cyklů a značným měrným výkonem. Nevýhoda spočívá v nižší kapacitě, menšímu potenciálu a nákladnější výrobě.

Tabulka 2 - Srovnání lithiových technologií

<i>Li-ion varianty</i>	<i>Měrná energie</i> [Wh/kg]	<i>Hustota energie</i> [Wh/l]	<i>Počet cyklů</i> [-]	<i>Jmenovité napětí článku</i> [V]
LiCoO_2	170-185	450-490	>500	3,6
LiMn_2O_4	90-110	280	>1000	3,8
LiFePO_4	80-125	130-240	>2000	3,2
$\text{LiMn}_2\text{O}/\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	65-100	118-200	12000	2,5
$\text{LiCO}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$	150-190	270-365	1500	3,7

LiFePO_4 – poskytuje vynikající tepelnou a chemickou stabilitu, také vysokou cykličnost a měrný výkon. Nevýhody se projevují v menší měrné energii. Dá se říci, že ze zmíněných Li-ion baterií je tato varianta nejvýhodnější z finančního hlediska, bezpečnosti i toxicity.

2.5 Solární regulátory

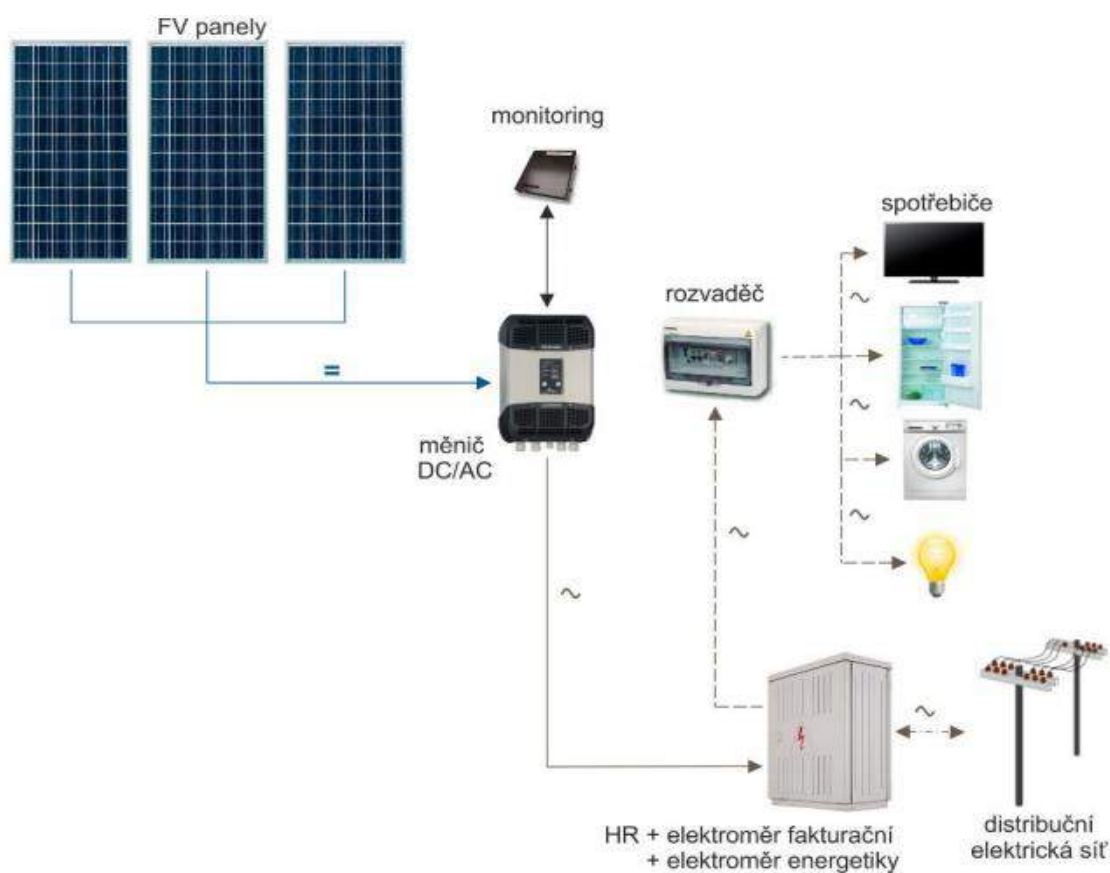
MPPT (Maximum Power Point Tracking) zajišťují v solárních fotovoltaických systémech automatické a bezpečné nabíjení akumulátorů z fotovoltaických panelů. MPPT solární regulátory jsou dnes již nezbytným prvkem všech ostrovních a hybridních fotovoltaických systémů. Nejlevnější solární regulátory MPPT jsou většinou pouze na 12 V a 24 V a neměly by se paralelně spojovat, jinak může docházet k nesprávnému fungování z důvodu absence synchronizace regulátorů mezi sebou. Do vyšší kategorie MPPT solárních regulátorů patří všechny regulátory, které již umí fungovat i na 48 V a je již také možné do systému postupně přidávat další solární regulátory (u MPPT Studer Innotec až do max. 15 kusů paralelně). Díky datové synchronizaci solárních regulátorů mezi sebou pak nedochází k nežádoucím vlivům, kdy nejsou regulátory navzájem synchronizované. Nedochází tak k významným ztrátám na výkonu z fotovoltaických panelů. Špičkové solární regulátory jsou také odolné proti stříkající vodě (IP54) a jsou zejména vhodné pro ostrovní systémy a hybridní fotovoltaické elektrárny HFVE s DC-vazbou (DC-Coupling), kde je zajištěno prokazatelné galvanické oddělení FV generátoru od distribuční soustavy a není tedy nutné žádat o povolení distributora a o licenci na výrobu elektřiny.

3 Fotovoltaické systémy

Připojení FV systémů se rozděluje do dvou skupin. Systémy připojené k elektrické rozvodné síti se označují jako on-grid a systémy bez připojení k elektrické rozvodné síti – off-grid, neboli autonomní systémy.

3.1 Síťové systémy (on-grid)

Jedná se o fotovoltaické elektrárny, které vyrábí elektrickou energii pro distribuci do elektrické rozvodné sítě. Síťový systém je složen z fotovoltaických panelů připojených na napěťový střídač bez transformátoru a elektroměr, který zajišťuje odečet vyrobené elektrické energie. Do sítě je připojen přes jistič a přepětovou ochranu. Takové instalace byly zřizovány na střechách rodinných domů, ale především jako velkoplošné pozemní instalace instalovaných výhradně za účelem zisku díky dotacím výkupních cen. Tyto ceny byly původně nadhodnoceny, došlo však k postupnému snižování dotací, až počátkem roku 2014 zcela skončily. Tím se tento druh instalace stal ekonomicky neefektivním.



Obrázek 3.1 - Schéma síťového systému (on-grid) [9]

3.2 Ostrovní systémy (off-grid)

Ostrovním systémem jsou označovány systémy, které nejsou připojeny na distribuční síť elektrické energie. Tyto systémy se používají především na odloučených lokalitách, kde je možnost přípojky k distribuční síti příliš nákladnou záležitostí vzhledem k ceně pořízení fotovoltaické ostrovní elektrárny. Takovými místy jsou například různé chaty, kde nemohou být zavedeny inženýrské sítě. Ostrovní systémy jsou však schopny napájet i celý rodinný dům. Z tohoto důvodu jsou však většinou předimenzovány, kvůli nižší výrobě v zimním období. Kvůli spotřebě také v noci je potřeba do takových systémů zakomponovat akumulátory, které také nejsou nejlevnější záležitostí. V takovém případě je vhodné doplnit systém jiným záložním zdrojem elektrické energie, jakým je například diesela agregát. Hlavními příčinami stavby těchto systémů je nákladná realizace přípojky k distribuční síti, ekologická výroba elektrické energie a také nezávislost na dodavatelích elektrické energie. U ostrovních systémů je kladen důraz na minimální ztráty energie a na použití energeticky úsporných spotřebičů.

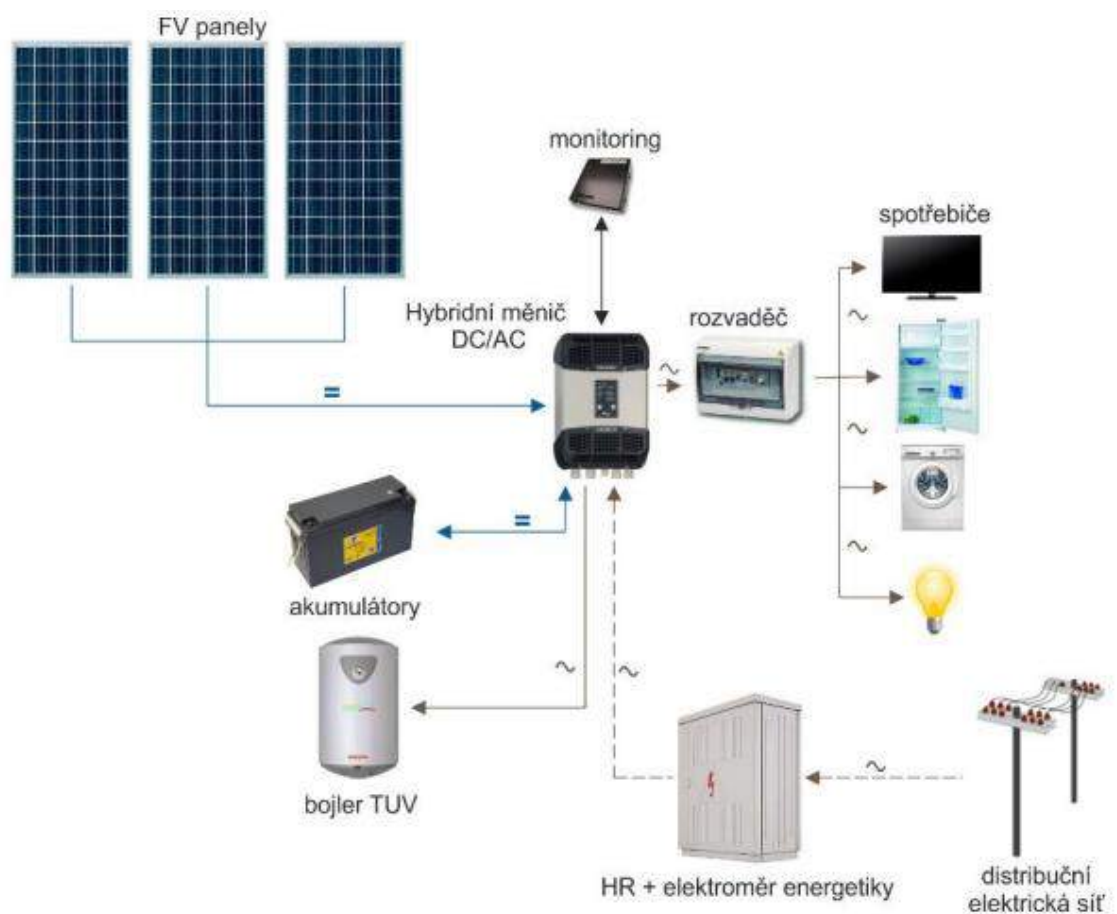


Obrázek 3.2 - Schéma ostrovního systému (off-grid) [9]

3.3 Hybridní fotovoltaické elektrárny (HFVE)

Využití hybridních systémů se stává novou atraktivní oblastí ve fotovoltaice. Poskytuje oproti jiným druhům fotovoltaických systémů řadu podstatných výhod, především komfortní využití systému, bez jakéhokoliv energetického omezování, přičemž systém poskytuje zálohu při výpadcích energie z distribuční sítě a tedy i jistou míru energetické nezávislosti. Poslední dobou se tato možnost využití fotovoltaiky stává populární, a to díky tomu, že

tato varianta kombinuje to nejlepší z on-grid a off-grid zapojení. Může být popsána jako off-grid se záložním bateriovým napájením nebo také jako on-grid s akumulací. Akumulace energie nemusí nutně znamenat pouze akumulaci v bateriovém uložišti, ale také například akumulaci v tepelné energii vody (ohřev užitkové vody v bojleru). Příklad zapojení hybridního fotovoltaického systému s akumulací do elektrických akumulátorů a teplé užitkové vody je zobrazen na Obrázek 3.3 - Schéma hybridního systému s ohřevem TUV .



Obrázek 3.3 - Schéma hybridního systému s ohřevem TUV [9]

Hybridní FVE jsou vhodné pro střešní instalace rodinných domů, firemních objektů, chat a chalup tam, kde je k dispozici přípojka k distribuční síti elektrické energie. Vyrobená energie je objektem využita pro vlastní spotřebu. Při nadbytku energie bývá akumulována do baterií, které potom zajišťují spotřebu domu v noci nebo při nepříznivých světelných podmínkách během dne. Oproti klasickým fotovoltaickým elektrárnám hybridní systém dokáže fungovat i bez funkční sítě v ostrovním režimu. Záložní funkce hybridního

systemu předurčuje jeho použití v místech, kde je potřeba jak šetřit náklady na elektřinu, tak i zálohovat elektrická zařízení - oběhová čerpadla, měřící nebo telekomunikační techniku. Hybridní systém bude spolehlivě dodávat energii během black-outů nebo během živelních pohrom, kdy distribuční síť nefunguje. Pro práci s bateriemi lze nastavit priority a rezervované kapacity pro jednotlivé účely. Díky hybridnímu měniči, který disponuje vstupy pro záložní napájení objektu, je systém schopen při nedostatku z fotovoltaiky nebo akumulátorů dodat potřebnou energii z distribuční sítě. Často se v tomto případě jedná o pokrytí spíchkových odběrů energie, při používání energeticky náročnějších spotřebičů. [10]

3.3.1 Výhody hybridního FV systému

Levnější než „off-grid“ systém

Hybridní fotovoltaický systém je levnější než „off-grid“ systém. Nepotřebujete záložní generátor a kapacita baterií může být snížena. Mimošpičková elektřina ze sítě je levnější než nafta do generátoru.

Možnost „chytrého“ řízení

Vstup hybridní FV systémů otevřel obrovské množství zajímavých inovací. Nové měniče povolují majitelům FVE získat výhodu kontroly nad cenami elektrické energie po celý den. Hybridní systém dokáže plynule "mixovat" elektřinu z baterií a ze sítě dle aktuální potřeby. Dokáže také pracovat ve spolupráci s distribuční sítí nebo s elektrocentrálou. Například je možné 40% kapacity baterií využít jako zásobník (buffer) pro využití solární energie. Zbytek kapacity do bezpečné úrovně vybití baterií je možné rezervovat pro funkci zálohování proti výpadkům sítě. [10]

4 Řízení hybridního FV systému

4.1 Prioritní využití energie z obnovitelných zdrojů / s využitím sítě

Prioritou hybridního fotovoltaického systému je používání vyrobené elektrické energie přímo z obnovitelných zdrojů. Pokud tyto obnovitelné zdroje nestačí pokrýt spotřebu objektu, je možné zbytek energie odebírat z distribuční sítě. V případě nedostatku záření je naopak možné nabíjení baterií z distribuční sítě v nízkém tarifu. V případě výpadku distribuční sítě se používá naakumulovaná energie z bateriového uložení jako záložní zdroj. Primárně je však stále využívána energie přímo z obnovitelných zdrojů energie.

4.2 Hybridní systémy s přizpůsobením zátěže výkonu FVE a prediktivním řízením

Způsobem, jak zajistit spotřebu elektrické energie v době výroby, a tím zvýšit ekonomickou efektivnost je přizpůsobení zátěže výkonu fotovoltaickému systému. Jedná se o systém, který přizpůsobuje spotřebu objektu tak, aby byl naplno využit plný výkon fotovoltaického zdroje. Spotřeba energie může být řízena postupným připojováním nebo spojitým řízením vybraných spotřebičů, tak aby byla energetická bilance vyvážená. V případě přebytků energie, jsou ukládány do baterie a následně využívány v noci.

Dalšími možnostmi, jak dále zvýšit účinnost a ekonomickou efektivnost systému je implementovat prediktivní algoritmus řízení. Tento typ systému je zatím ve fázi vývoje. Vstupními daty prediktivního algoritmu řízení jsou předpovídané hodnoty výroby FVE a model spotřeby elektrické energie v objektu. Na základě těchto dvou hodnot může řídicí algoritmus vyhodnotit, zda bude následující den dostatek elektrické energie vygenerované FVE. V případě že ne, je možné v době nízkého tarifu naakumulovat levnou (nízký tarif) elektrickou energii do akumulátorů přes noc.

5 Popis objektu Fénix

FENIX GROUP a.s. se rozhodl svou novou administrativní budovu v areálu v Jeseníku nabídnout jako testovací objekt. Účelem projektu je ověřit spolupráci střešních FVE s domovními bateriemi a distribuční sítí smart grid tak, aby byla prokázána výhodnost tohoto řešení pro provozovatele energetické soustavy i pro uživatele. (3) V novém administrativním centru budou umístěny kanceláře tuzemského obchodu, techniků prodeje a vedoucích pracovníků výroby. Kromě toho zde bude pro návštěvníky showroom s výrobky společnosti FENIX GROUP a.s.. [11]

Výstavba budovy začala v říjnu roku 2015 a její dokončení proběhlo na konci května 2016. Počátkem června byla slavnostně otevřena a tím začal její zkušební provoz. Všechny instalované systémy jsou v provozu a funkční. Jedná se o plně elektrifikovanou budovu, ve které není použit žádný jiný zdroj energie než energie elektrická.

5.1 Konstruktivní řešení

Novostavba je obdélníkového půdorysu o rozměrech zastavěné plochy 10,3 x 14,3 m a výšky cca 12 m. Jedná se o administrativní budovu, třípodlažní. Užitná plocha budovy je 270 m² (bez terasy ve 3. NP). Celý koncept budovy byl navržen jako strohý, avšak funkční. Nosné konstrukce můžeme charakterizovat jako třípodlažní převážně prefabrikovaný skelet s příčnými rámy. Tyto rámy vynášejí podélně pnuté stropní desky a stropní ztužidla vynášejí zatížení jednotlivých podlaží. Sloupy jsou dělené, stykované vždy v úrovni stropní konstrukce pomocí tzv. Čapkova styku. Sloupy prvního podlaží jsou vetknuty do kalichů pilotového založení. Prostor mezi obvodovými sloupy je vyzděn pomocí vyzdívek z vápenopískových cihel. Nenosné interiérové dělicí konstrukce jsou tvořeny sádkartonovými příčkami se zvukovou izolací a prosklenými příčkami. Pro výplně otvorů v obvodových konstrukcích jsou použita dřevo-hliníková okna s trojím zasklením, dveře a skleněné stěny. Dřevěné profily oken dveří a skleněných stěn jsou z exteriérové strany opatřeny hliníkovými krycími profily. Proti slunečnímu záření jsou okna na jižní a západní fasádě opatřena venkovními žaluziemi. Ze strany interiéru jsou vyzdívky obloženy sádkartonovým obkladem. Povrch stropů je u většiny místností tvořen pohledovým betonem. V některých místnostech nebo v jejich částech jsou použity sádkartonové podhledy. Budova byla také zateplena. Parametry obvodových

konstrukcí jsou na úrovni lepší, než doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podle ČSN 73 0540:2011. Vzhled fasády je řešen horizontálními dřevěnými rastry, které svým vzhledem podtrhují význam ekologické a udržitelné hodnoty objektu. Zastřešení budovy je zajištěno plochou střechou, kde ve 3. NP je krytá terasa se zahradou přístupná ze zasedací místnosti. [12]

5.2 Vytápění a chlazení

Vytápění budovy zajišťují elektrické přímotopné sálavé systémy firmy Fenix, otopné plochy jsou umístěny přímo v obsluhovaných prostorech. Jedná se stropní panely ECOSUN G, nástěnné panely GR a podlahové vytápění ECOFLOOR v různých kombinacích. [12] Celkový elektrický příkon systému pro vytápění budovy je 11,1 kW, vytápění venkovních ploch má elektrický příkon 1,6 kW. Regulace jednotlivých prvků systému vytápění je řízeno pomocí systému firmy BMR, kdy v jednotlivých místnostech jsou umístěny senzory teploty, doplněné o senzory relativní vlhkosti. Variabilita celého systému poté umožňuje regulaci po jednotlivých místnostech. [13]

Chlazení budovy zajišťuje v kombinaci s VZT systémem kondenzační chladicí jednotka, umístěná na střeše objektu. Větrání objektu je zajištěno pomocí centrální VZT jednotky (umístěné ve 3. NP) se zpětným získáváním tepla. Hygienické množství čerstvého vzduchu představuje 386 m³/h, maximální průtok větracího přiváděného vzduchu je 1364 m³/h (vč. cirkulačního vzduchu). Jednotka je osazena výparníkem chlazení a elektrickým ohřevem. Zvolený systém je velmi flexibilní a umožňuje řešit i velmi malé dodávky tepla či chladu individuálně a beze ztrát dle okamžitých potřeb. [13]

Příprava teplé vody je zajištěna přímo v místě spotřeby pomocí elektrických zásobníkových ohřivačů. [12]

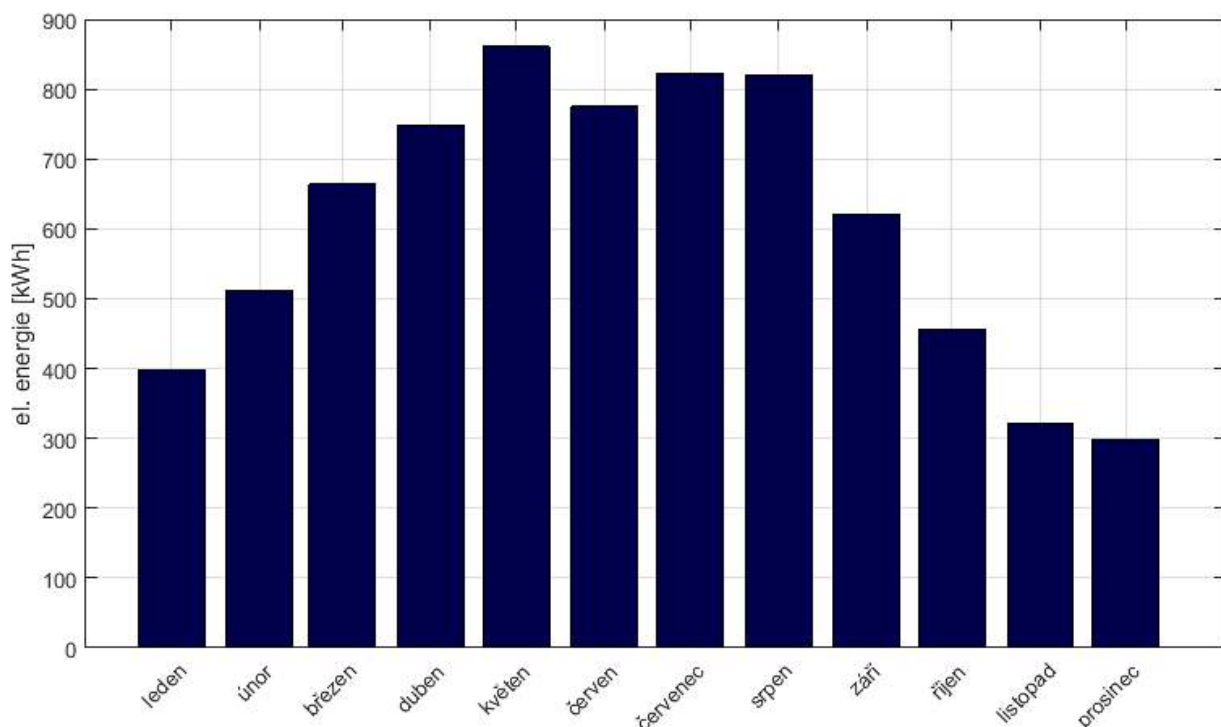
5.3 Energetika v objektu

V objektu jsou použity fotovoltaické panely EXE Solar EXP 260/156-60 o nominálním výkonu jednoho panelu 260 Wp. Ty dodávají elektrickou energii do regulátoru nabíjení Studer Vario String VS-120. Celkem je propojeno 14 fotovoltaických panelů sériově a

takto jsou vytvořeny 2 nezávislé řetězce – celkem tedy 7,28 kWp. Regulátor nabíjení je napojen na systémovou sběrnici 48V propojenou s bateriovým uložištěm, které tvoří 4ks uložišť BMZ ESS7.0 s měniči Studer XTH 6000-48. Konverze energie DC 48V – AC 230/400V zajišťuje sestava 3ks 1-fázových měničů Studer XTH 6000-48. Celý systém je vybaven rozhraním pro lokální i dálkové řízení a monitoring. Toto rozhraní tvoří datalogger a řídicí rozhraní, ale také zakázkově naprogramované PLC od firmy TECO a.s. Jednotka TECO je využívána pro řízení a sledování hybridního systému a zároveň pro celkový monitoring systémů TZB a sběr a přenos dat z čidel, která jsou umístěna v celé budově. [14]

Blokové schéma zapojení energetických rozvodů v budově můžete vidět v Příloha č. 1. Pro pokrytí požadavků na spotřebu elektrické energie v budově je tedy využito hybridního fotovoltaického systému. Obnovitelná energie je získávána z fotovoltaických polykrystalických panelů, které jsou instalovány na střeše budovy. Jejich nominální výkon je 7,28 kWp, sklon 35° s jižní orientací. Očekávaná výroba elektrické energie tohoto fotovoltaického systému je 7298kWh ročně.

Obrázek 5.1 - Očekávaná výroba elektrické energie FVE (Homer)



Celkové rozložení vyrobené energie lze vidět na Obrázek 5.1. Letní měsíce jsou samozřejmě nevíce výnosné z hlediska výroby elektrické energie. V těchto měsících

velmi často dochází zejména přes den k větší výrobě elektrické energie, než samotná budova dokáže spotřebovat. Proto jsou velmi důležité systémy pro akumulaci energie. V případě budovy FENIX bateriové uložení BMZ ESS7.0 (4 ks) o kapacitě 486 Ah, což odpovídá 27 kWh energie.

Parametry bateriového uložení BMZ ESS7.0:

- Nominální napětí 55 V
- Konečné nabíjecí napětí 61,5 V
- Nominální kapacita 121,5 Ah (reálná 79,2 Ah)
- Maximální nabíjecí proud – 90 A a vybíjecí až 300A (max. 3 s)
- Životnost 5000 plných cyklů
- Až 95 % efektivita přeměny energie [15]

5.4 Systém sběru dat

Systém řízení, online monitoringu a sběru dat je na míru vyvinut pro společnost Fenix Group a.s.. Je založen na řízení energetického hospodářství, přičemž jsou uvažovány různé inovativní přístupy, měření energetických toků, měření kvality vnitřního a vnějšího prostředí aj.. Každý systém v budově má svůj vlastní řídicí systém. Budova nemá centrální řídicí uzel. Vybraná data jsou však lokálně ukládána v centrálním PLC TECO na SD kartu a následně jsou data odesílána ethernetovým připojením na portál dálkového monitoringu UCEEB MONITOR. Všechny údaje jsou zaznamenávány po minutách a ukládány do CSV souboru. V jednotce jsou dále shromažďovány i aktuální data ze zvolených zařízení, která jsou poté dána k dispozici při dotazu jiným zařízením. Jedná se tedy o centrální uzel pro výměnu informací instalovaných TZB systémů. Výměna informací mezi systémy bude mít však nižší prioritu, protože TECO jednotka slouží především k zajištění energetického řízení budovy. PLC zároveň oboustranně komunikuje s daným serverem a získává z něj informace o předpovědi počasí. Všechna data, která jsou odeslána na server UCEEB jsou dostupná přes online portál monitoringu. Systém je dálkově programovatelný a říditelný, což je základem pro jeho další vývoj a ladění. [13] [14]

Schéma monitorovaných parametrů viz Příloha č. 2.

5.4.1 Měření energetických toků

Měření energetických toků je zajištěno měřením a sběrem dat do centrální PLC jednotky TECO. Do této jednotky posílají data analyzátory výkonu a samotný HFV systém. Analyzátory výkonu BMR PLA 33 a PLA 34 (umístěné v hlavním rozvaděči ve 3.NP) interně zaznamenávají data a jsou k centrální jednotce připojeny systémovou sběrní Modbus TCP/IP. HFV systém, konkrétně tedy měniče Studer jsou interní sběrní Studer XCOM připojeny přes rozhraní XCOM-RS232. [14]

5.4.2 Měření parametrů VZT jednotky

Ve VZT jednotkách se měří teplota a vlhkost odváděného vzduchu na vstupu do jednotky z interiéru, na výstupu z jednotky do interiéru a na vstupu z exteriéru do jednotky. Dalším důležitým parametrem VZT jednotek je také objemový průtok na přívodu a odvodu.

5.4.3 Měření intenzity slunečního záření

Na střeše budovy jsou instalovaná čidla osvitů určená pro monitoring FV systémů založená na čidle z krystalického křemíkového článku. Na budově je měřená intenzita slunečního záření v horizontální rovině a ve sklonu instalovaných FV modulů.

Obrázek 5.2 - Čidla osvitů instalovaná u FV panelů na budově FÉNIX (číslo 1 ve sklonu s panely, č. 2 je čidlo horizontální) [24]



5.4.4 Měření kvality vnitřního prostředí

Pro měření kvality vnitřního prostředí se používají senzory, které snímají:

- Hladinu oxidu uhličitého (CO₂) ve vzduchu
- Přítomnost těkavých organických látek (VOC)
- Teplotu vzduchu
- Relativní vlhkost

Ke zkvalitnění možnosti regulace vnitřních parametrů vzduchu je v systému použit i senzor přítomnosti osob a zároveň se monitoruje stav venkovních žaluzií.

5.4.5 Měření kvality vnějšího prostředí

Pro měření vnějšího prostředí je na budově umístěna meteostanice. Tato stanice měří základní veličiny vnějšího prostředí, jako jsou:

- Venkovní teplota
- Vlhkost
- Ozáření
- Rychlost a směr větru
- Množství srážek

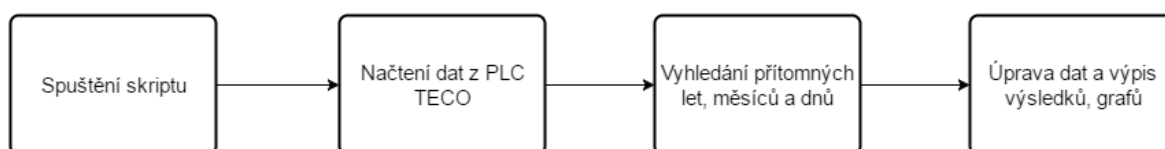
6 Postup zpracování dat – MATLAB

Data, která se pomocí webového rozhraní nebo z SD karty stahují z PLC jednotky TECO, jsou v jednom souboru formátu CSV. Každá z měřených veličin je zapisována do vlastního sloupce. Jedná se o minutová data, která reprezentují chování budovy. Data jsem zpracovával pomocí softwarového programu Matlab R2015b.

6.1 Skript pro úpravu dat

Prvním jednodušším způsobem zpracování dat jsem zvolil skript. Jedná se o program, který importuje data z CSV souboru do pole hodnot. Následně vyhledá přítomné roky, měsíce a dny. Poté jsou data upravována, podle požadovaných kritérií – denní nebo měsíční souhrn, případně denní průměr v jednotlivých měsících atd. Následuje výpis výsledků nebo grafů pro názornější reprezentaci dat.

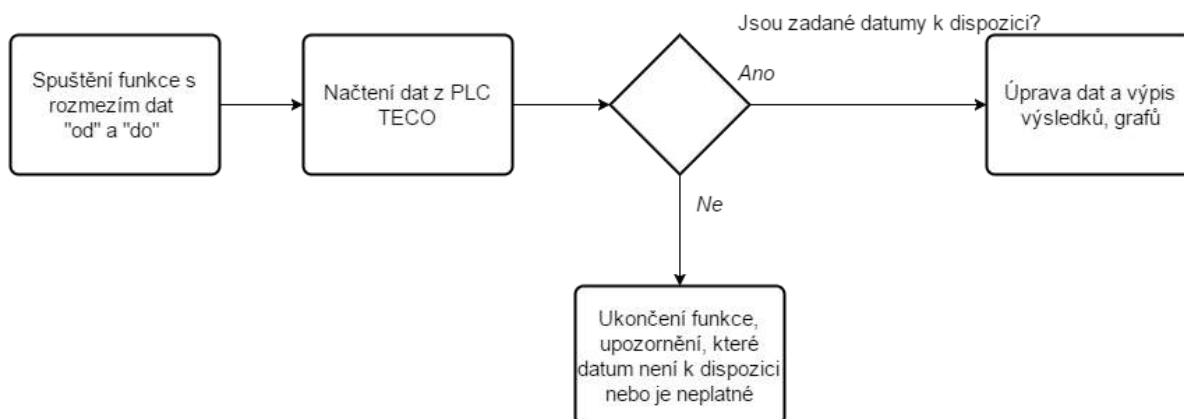
Obrázek 6.1 - Schéma skriptu pro úpravu a vyhodnocení dat



6.2 Funkce pro úpravu dat

Druhým způsobem úpravy dat jsem zvolil funkci. Tato funkce má jako vstupní hodnoty požadované rozmezí dat „od“ a „do“. Stejně jako u skriptu je prvním krokem načtení dat ze souboru CSV do pole hodnot. Poté program vyhledá požadované rozmezí dat. Pokud je požadované rozmezí k dispozici, pokračuje v úpravách dat a ve výpisu výsledků a grafů. Když požadované rozmezí dat není k dispozici, program vypíše chybovou hlášku, které datum není k dispozici.

Obrázek 6.2 - Schéma funkce pro úpravu a vyhodnocení dat



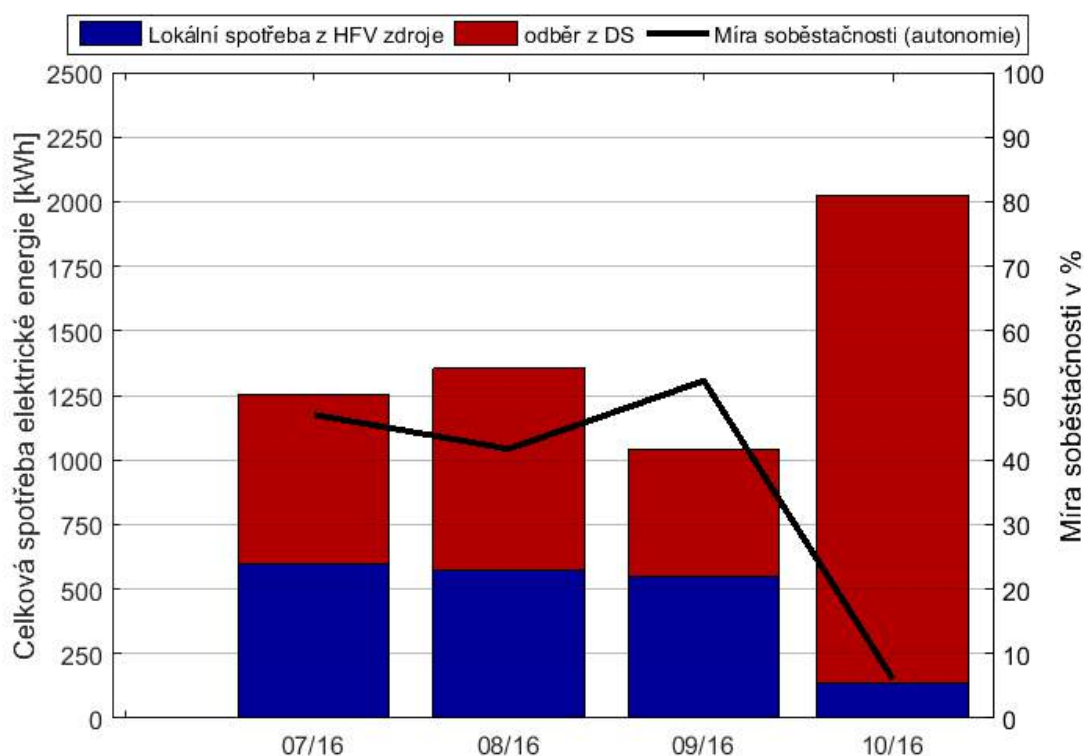
7 Vyhodnocení energetického chování budovy

Pro vyhodnocení energetického chování budovy jsem použil funkce a skripty vytvořené podle schémat z předchozí kapitoly. Budova je v provozu od počátku června 2016 a od počátku července 2016 bylo spuštěno monitorování všech částí systému.

7.1 Bilance energie

Ihned po spuštění provozu budova vykazovala nízká čísla, co se týká spotřeby. V letních měsících byla budova soběstačná téměř z 50 %, jak můžeme vidět na Obrázek 7.1. Celková spotřebovaná energie byla o poznání menší díky menší spotřebě chladu, než bylo předpokládáno v simulačních modelech. V měsíci říjnu se začalo s vytápěním

Obrázek 7.1 - Zdroje energie pro budovu během prvních měsíců od spuštění (HFV systém a DS)

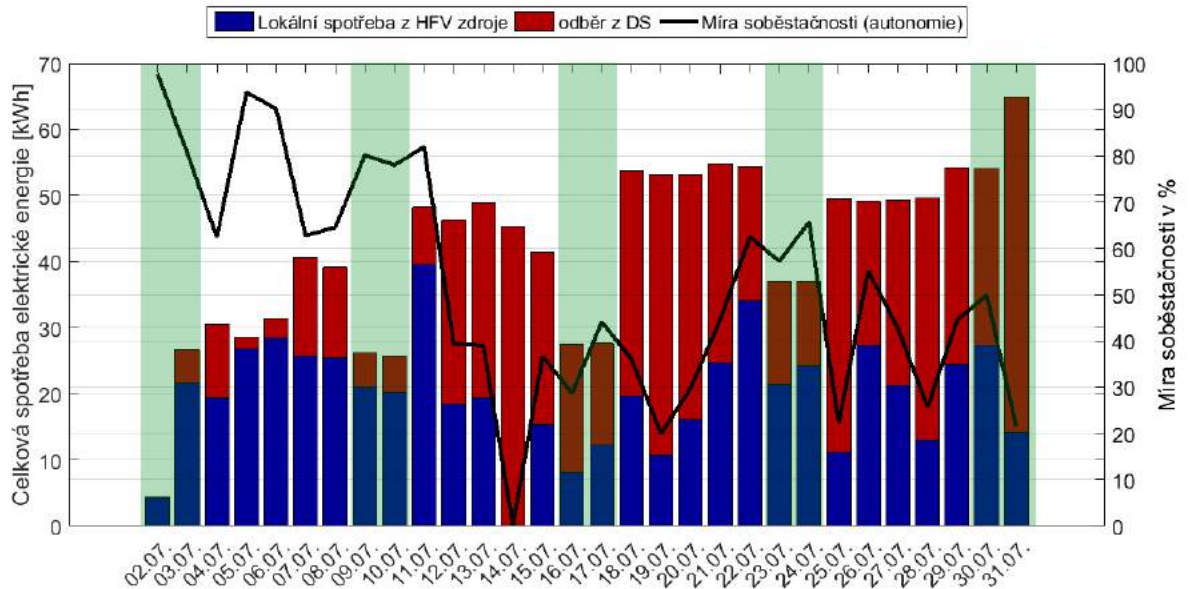


objektu, což lze snadno poznat z nárůstu spotřeby elektrické energie na téměř dvojnásobek v porovnání s měsícem září. Zároveň poklesla výroba FVE, protože v měsíci říjnu bylo méně slunečných dnů než v září. Zároveň bylo spuštěno nabíjení baterií z DS, což znamená pokles celkové bilance lokální spotřeby z HFV zdroje. Lze tedy předpokládat, že průměrná roční míra soběstačnosti se tedy bude pohybovat kolem 25%.

7.1.1 Detailnější pohled – červenec 2016

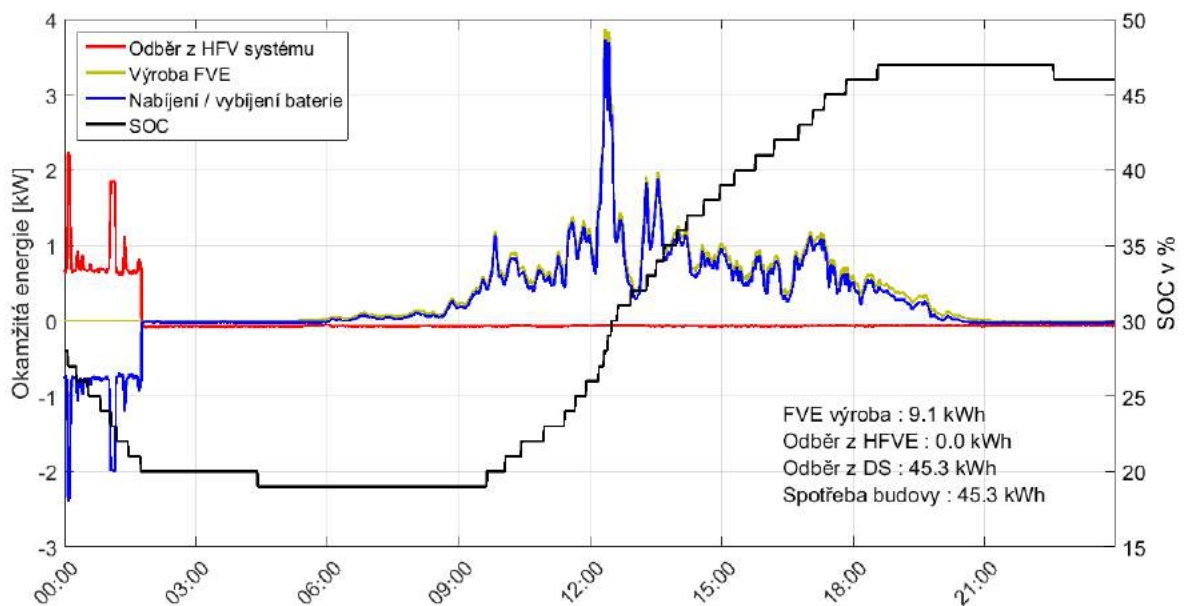
Když se podíváme detailněji na zdroje energie v jednotlivých dnech v měsíci, můžeme vidět rozdíl ve spotřebě v pracovní den a o víkendu. O víkendech funguje méně systémů, proto i míra soběstačnosti je o víkendu vyšší, zvláště ve sluneční dny.

Obrázek 7.2 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu – červenec 2016 (zelené podbarvení – víkend)



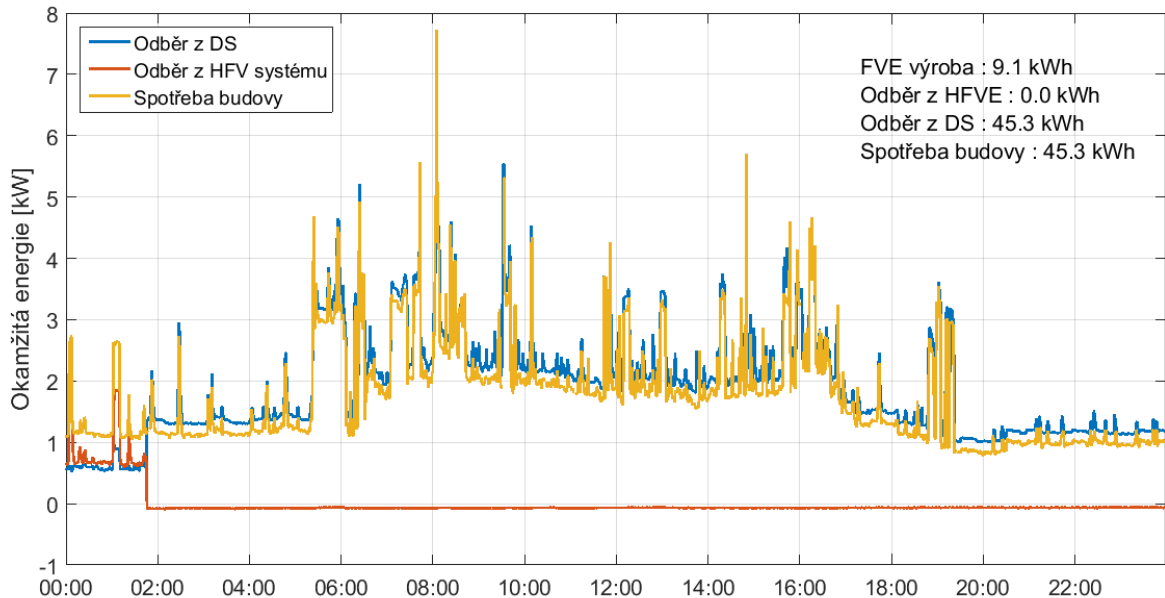
Když se podíváme na den 14. 7. 2016, vypadá, jako by v HFV systém nevyrobil žádnou energii. Opak je pravdou. Fotovoltaické pole vyrobilo 9,1 kWh, ale HFV systém všechnu nasměřoval na nabíjení baterií, které byly vybity později v noci. Stav baterií před nabíjením byl na hranici 20 % SOC. Kvůli ochraně baterií a jejich vyšší životnosti se systém snaží držet právě nad touto hranicí. Denní spotřeba 45,3 kWh byla tedy pokryta odběrem

Obrázek 7.3 - Detailní zobrazení výroby a akumulace energie v HFV systému pro 14. 7. 2016



z DS. Profil odběru energie z DS a spotřeby energie můžeme vidět na Obrázek 7.4 - Profil odběru z DS, HFV systému a spotřeba budovy.

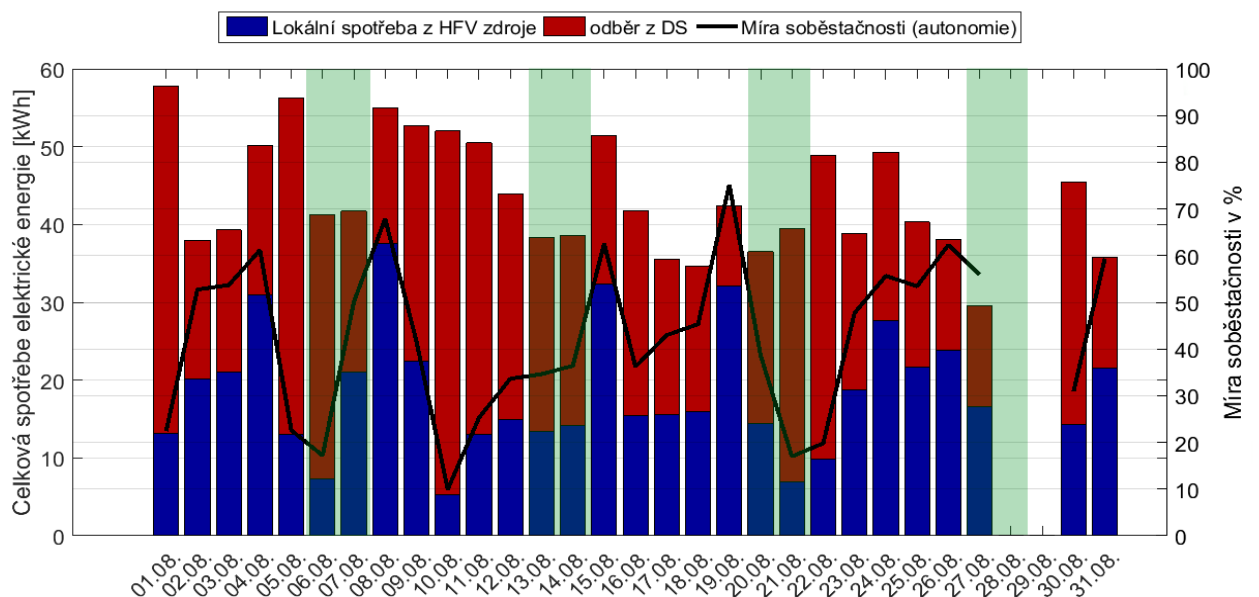
Obrázek 7.4 - Profil odběru z DS, HFV systému a spotřeba budovy pro 14.7.2017



7.1.2 Detailnější pohled – srpen 2016

V měsíci srpnu, měla bilance zdrojů energie podobný charakter jako v červenci. V rámci celého měsíce FV pole vyrobilo 687,8kWh energie, celková spotřeba budovy 1374 Wh byla z 42% pokryta HFVE (573 kWh). Zbývající energie – 801 kWh dodala DS. Chybějící data 28. 8. – 29. 8. byly způsobeny výpadkem systému pro sběr dat. Byl nutný dálkový restart PLC.

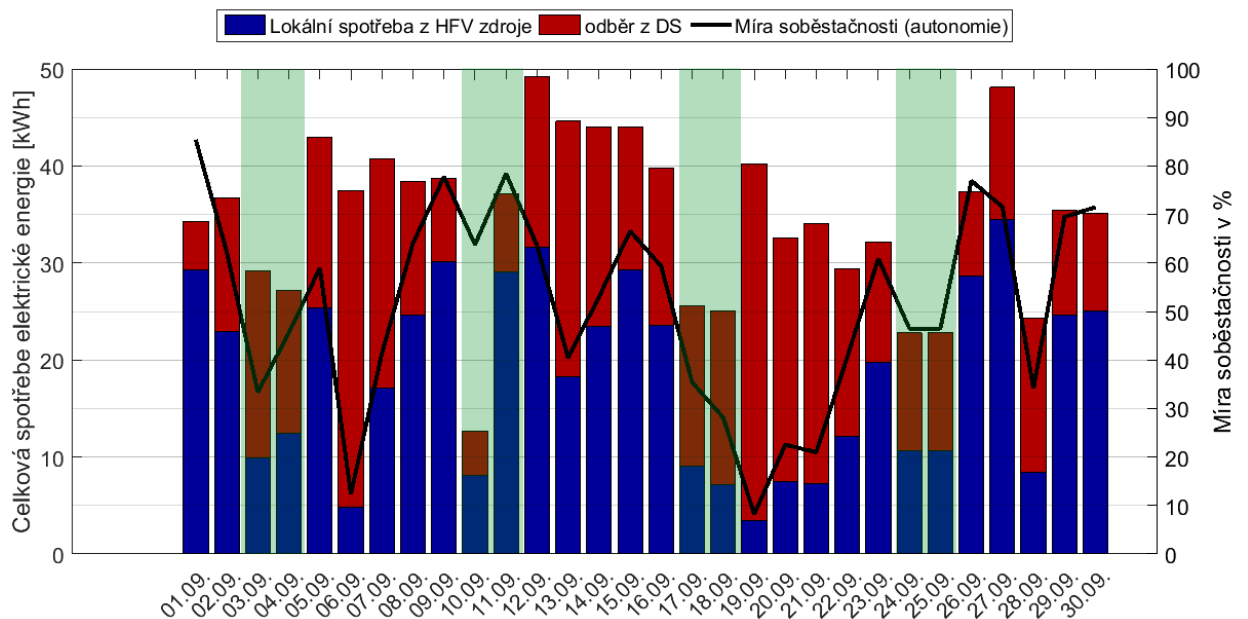
Obrázek 7.5 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu - srpen 2016 (zelené podbarvení – víkend)



7.1.3 Detailnější pohled – září 2016

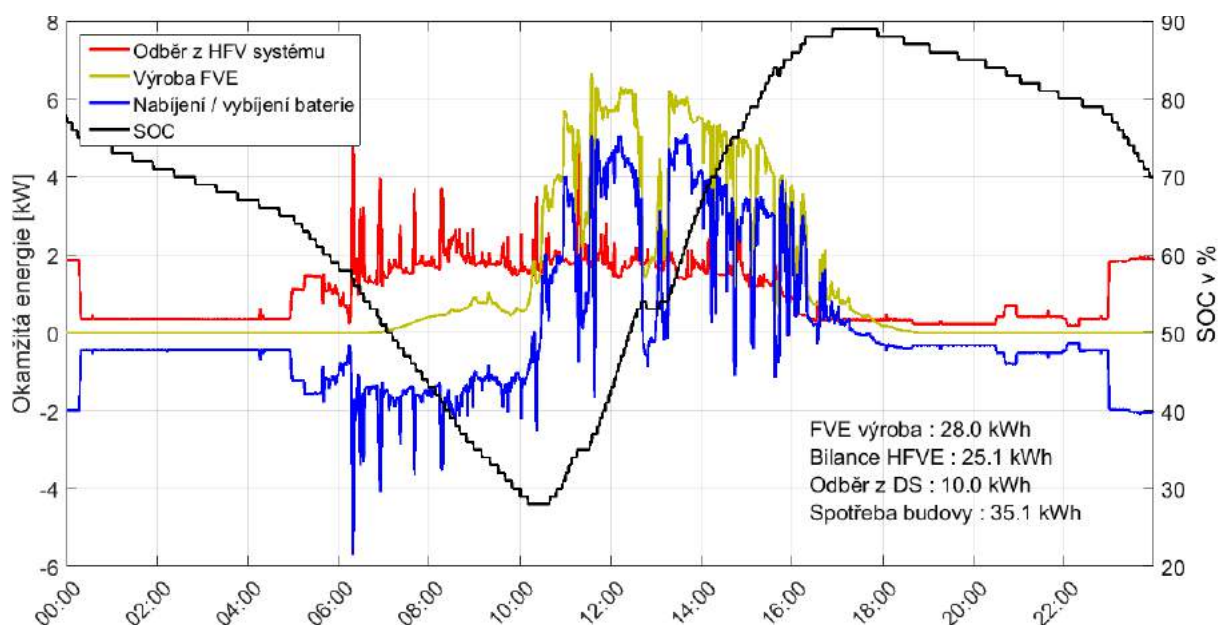
Především první polovina září byla z hlediska výroby FV energie nadprůměrná. Celoměsíční bilance vypadá následovně. FV pole vyrobilo celkem 658,3 kWh energie. Spotřeba budovy 1050 kWh byla z 52% pokryta zdrojem HFV systému (548,9 kWh). Zbývající energie 501,4 kWh byla dodána z DS.

Obrázek 7.6 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu - září 2016 (zelené podbarvení – víkend)



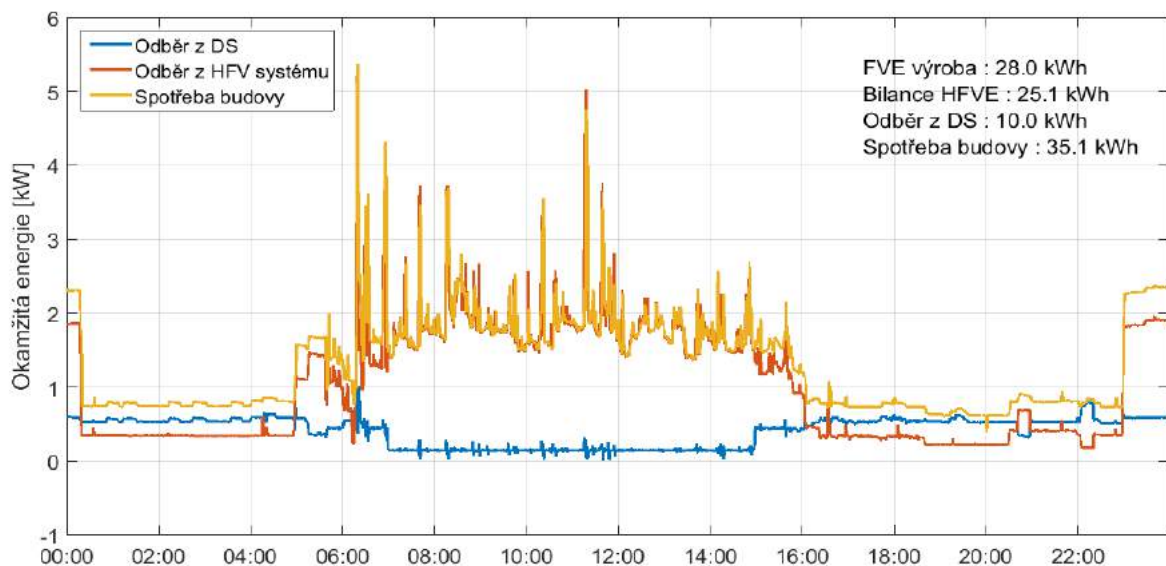
Když si opět přiblížíme poslední den v měsíci – 30. 9. 2016, vidíme, že baterie byla v 22:00 nabitá na zhruba 90% a již začalo pozvolné vybíjení - Obrázek 7.7.

Obrázek 7.7 - Detailní zobrazení výroby a akumulace energie v HFV systému pro 30. 9. 2016



Ve vybíjení baterie a spolupráci DS na uspokojení spotřeby budovy se pokračovalo až do doby, kdy výkon FV části překročil hodnotu okamžité spotřeby budovy. V ten moment začala být okamžitá spotřeba budovy pokrývána FV zdrojem a přebytečná energie směřovala do baterie, tedy systém začal baterii opět nabíjet. Jak můžeme vidět na Obrázek 7.7, kolem 13. hodiny došlo k poklesu výkonu FV zdroje zhruba na půl hodiny. Ten mohl být způsoben zakrytím FV pole např. vzniklou oblačností. Díky výkonu FV byl odběr z DS minimalizován na méně než třetinu. Budova byla ze 71,5 % v tento den nezávislá na DS. Odebíraný výkon z DS byl po celý den menší než 1 kW - Obrázek 7.8.

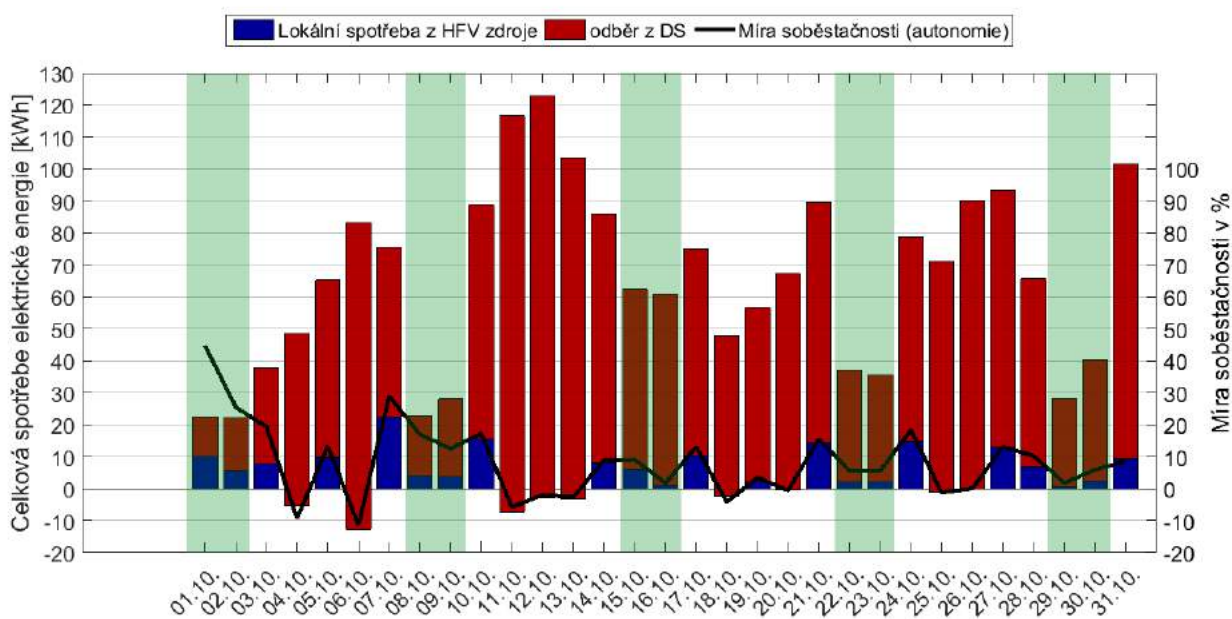
Obrázek 7.8 - Profil odběru z DS, HFV systému a spotřeba budovy pro 30.9.2016



7.1.4 Detailnější pohled – říjen 2016

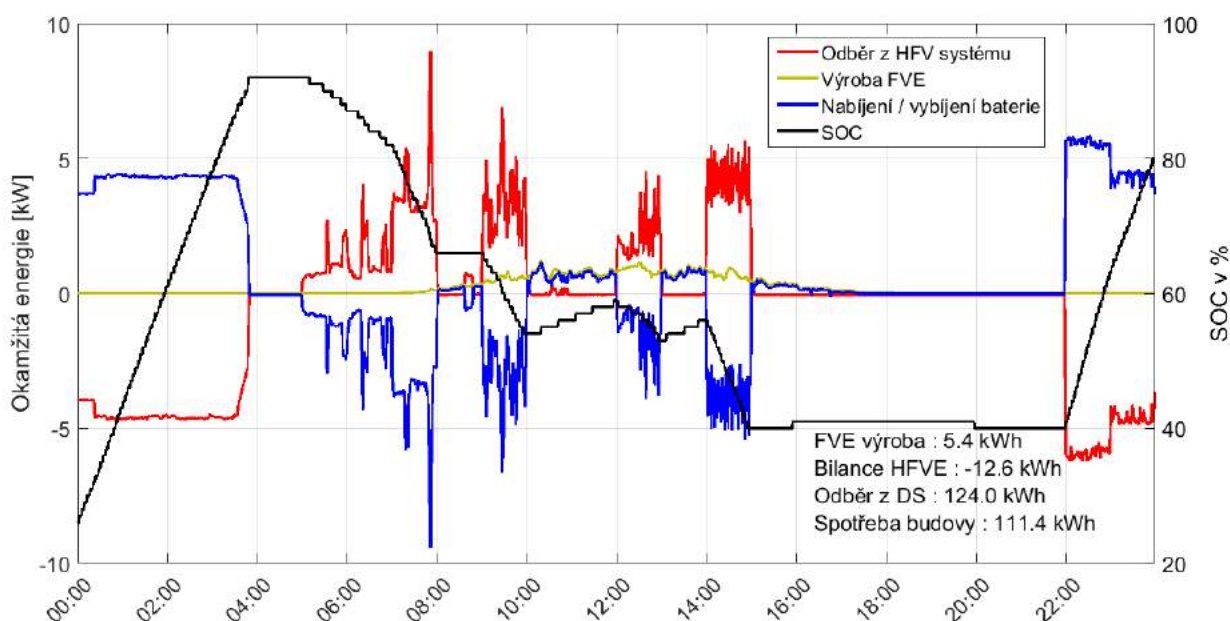
Míra soběstačnosti v říjnu značně poklesla, jak můžeme vidět viz. Obrázek 7.9. Důvodů je víc. Prvním z nich je začátek topné sezóny, což má za následek prudký nárůst spotřeby elektrické energie, protože jediným energonositelem v budově je elektřina. Rozdíl mezi pracovním dnem a víkendem je tedy v topném období mnohem více patrný. Druhým důvodem je, že systém začal nabíjet baterie přímo z DS. K nabíjení dochází např. v noci, viz Obrázek 7.10. Dalším neméně významným důvodem je celkový pokles slunečných dnů a s tím spojený pokles výroby FV energie. V souhrnu za měsíc říjen FV pole vyrobilo 227,8 kWh, HFV systém poté pracoval v přebytku 136,4 kWh a celková spotřeba 2023,7 kWh byla pokryta z 93 % energií ze sítě.

Obrázek 7.9 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu - říjen 2016 (zelené podbarvení – víkend)

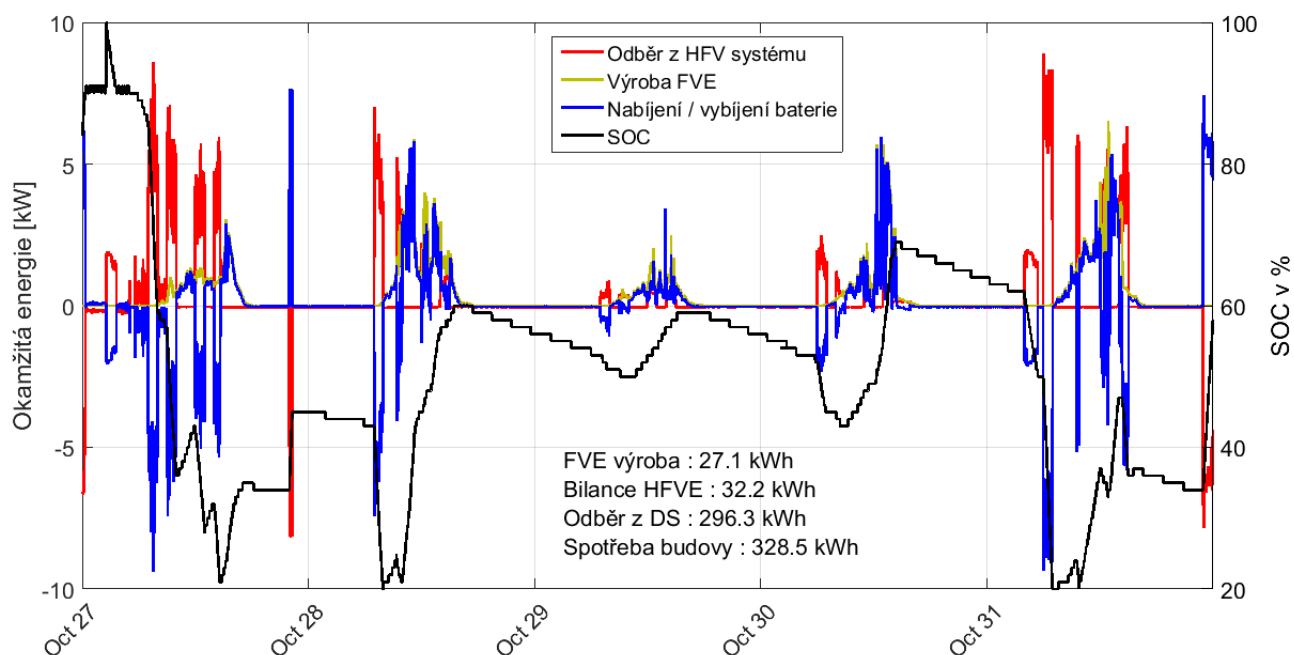


Na Obrázek 7.10 můžeme vidět od začátku nabíjení baterií ze sítě až do zhruba 4:00. Nabíjení ze sítě poté pokračovalo od 22:00. Nabíjení baterie ze sítě přes noc probíhá vždy při poklesu SOC baterie pod určitou hranici – 70%. Toto nabíjení však neprobíhá před víkendem. Systém ponechává baterii na víkend na hranici kolem 60% bez dobíjení ze sítě. Důvodem je zůstatek dostatečné volné kapacity pro uložení vyrobené FV energie z FV pole. Systém také bere v úvahu predikci výroby FV energie. Takový případ můžeme vidět na Obrázek 7.11.

Obrázek 7.10 - Detailní zobrazení výroby a akumulace energie v HFV systému pro 6. 10. 2016



Obrázek 7.11 - Detailní zobrazení výroby a akumulace energie v HFV systému pro 27.10–31.10. 2016

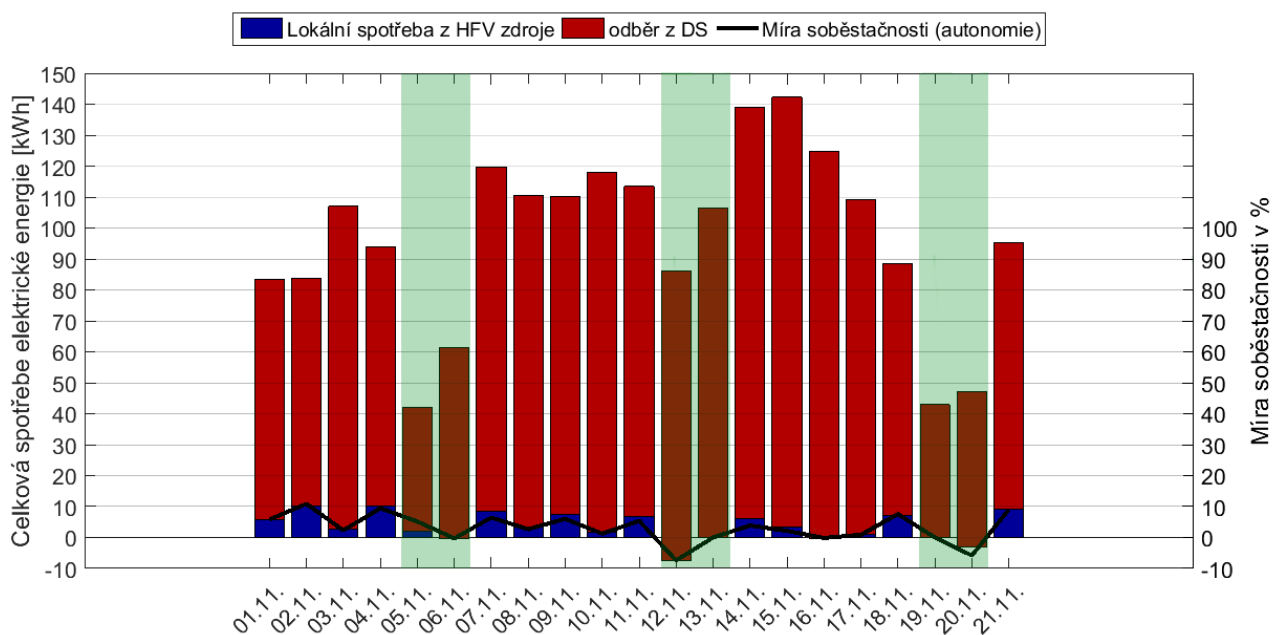


Zde můžeme vidět průběh nabíjení a vybíjení baterie v průběhu víkendu (29. 10. – 31. 10. 2016). Lze vidět, že na víkend baterie je nabita na takovou hladinu, aby mohla přijímat přebytečnou energii z FV pole. Z toho důvodu není dobíjena v průběhu noci, jako tomu je v pracovních dnech. Až v noci z 31. 10. 2016 na 1. 11. 2016 se začíná baterie dobíjet z DS. Pokud je ovšem předpověď výroby energie FV polem malá, může systém baterie dobíjet i o víkendech, což je nejnázorněji vidět v průběhu listopadu 2016. Odběr z HFV systému v záporných hodnotách znamená nabíjení baterie z DS.

7.1.5 Detailnější pohled – listopad 2016

Listopadová data ještě nejsou úplná i tak lze ale vidět trend budovy ve zvyšující se spotřebě a prohlubujícím se rozdílu mezi dny v týdnu a víkendy. V tomto neúplném měsíci bylo vyrobeno FV polem 162 kWh, balance HFV systému je 74,3 kWh, což jsou pouhé 3,5 % z celkové spotřeby budovy, která činila 2024,5 kWh. Zbývající energie 1950,2 kWh byla tedy dodána z DS.

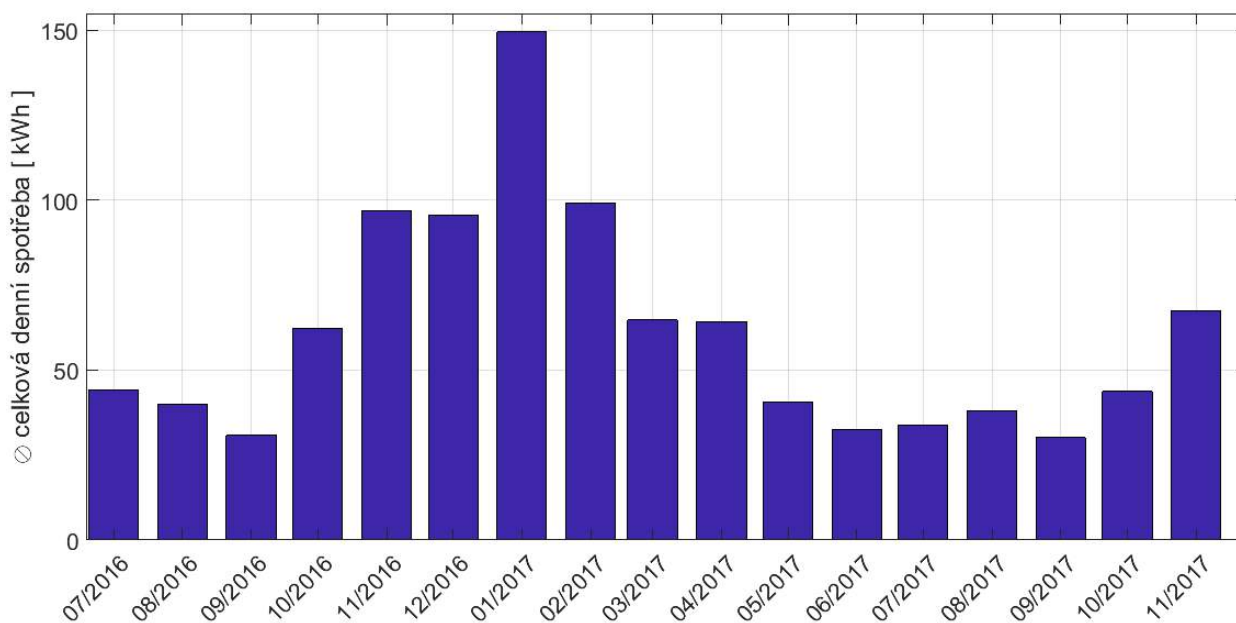
Obrázek 7.12 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu – listopad 2016 (zelené podbarvení – víkend)

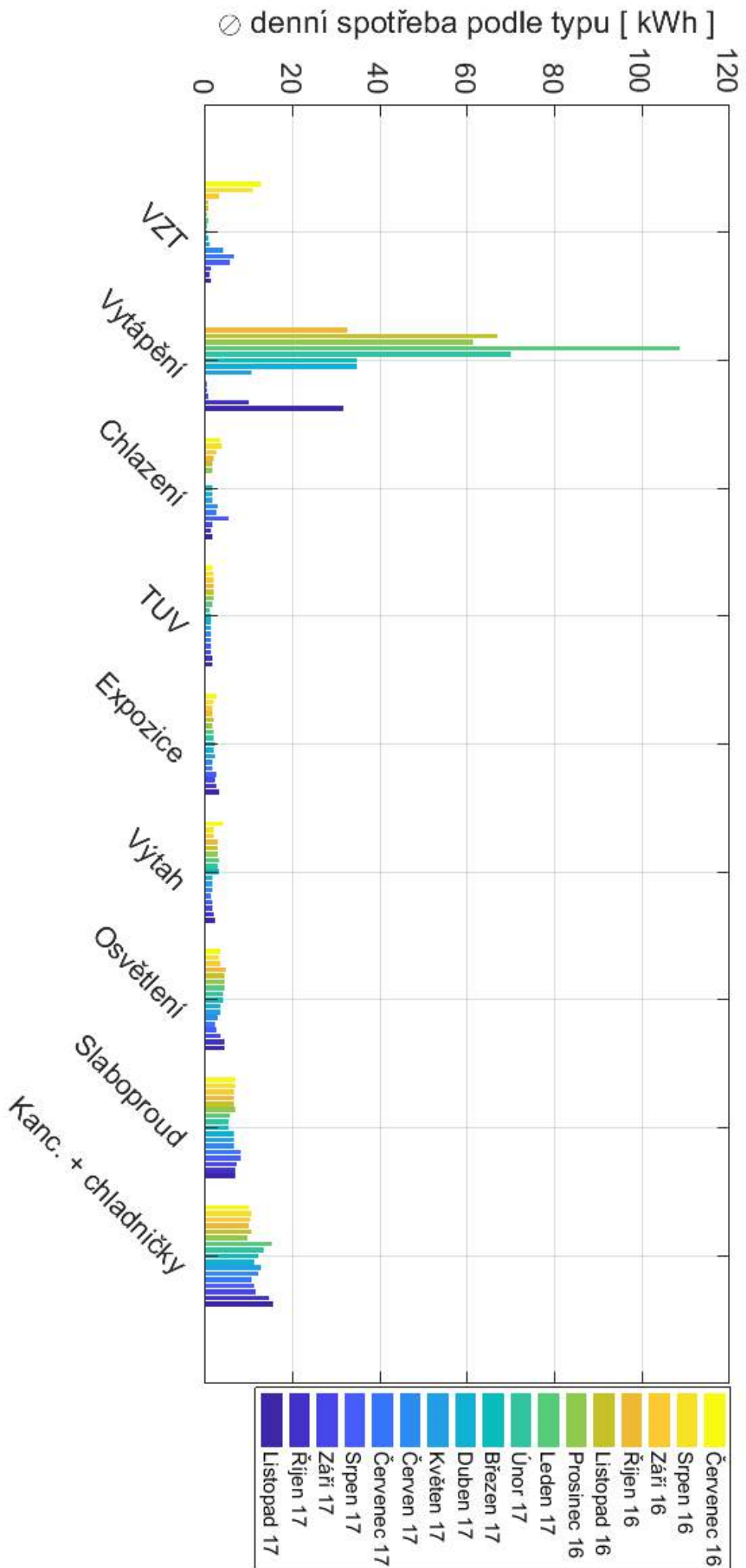


7.2 Měsíční profil spotřeby budovy

Pro znázornění vývoje spotřeby v jednotlivých měsících slouží Obrázek 7.14. Zde je velice dobře patrné, že vytápění má markantní podíl na spotřebě v topném období. Prakticky můžeme říct, že rozdíl ve spotřebě mezi letními a zimními měsíci je především ve vytápění. Rozdíl je samozřejmě viditelný i v jiných typech zařízení, např. ve VZT, kdy v zimních měsících není potřeba tak intenzivního větrání a výměny vzduchu, ale rozhodně nedosahuje takových hodnot jako ve vytápění.

Obrázek 7.13 - Průměrná denní spotřeba v jednotlivých měsících





Obrázek 7.14 - Vývoj průměrné denní spotřeby podle typu

Pochopitelně se zvýšeným vytápěním poklesne spotřeba na chlazení. Rozdíl je také patrný ve spotřebě pro osvětlení. Malý nárůst průměrné denní spotřeby souvisí se zkracováním dnů. Tato skutečnost je patrná zejména v měsících, kdy jsou dny nejkratší. V letních měsících je vidět menší potřeba osvětlení. V profilu jsou však i typy zařízení, které svou spotřebu v průběhu roku prakticky nemění. Jsou to ty zařízení, která nejsou vázána na venkovní počasí, či jiné vnější faktory. Mezi ně patří kancelářská technika, chladničky, slaboproudé technologie v budově, výtah, výroba teplé užitkové vody a firemní expozice. Průměrnou denní spotřebu v jednotlivých měsících je možno vidět na Obrázek 7.13

7.3 Denní profil spotřeby budovy podle typu

V této části se z bližšího pohledu podíváme na jednotlivé dny z předchozí podkapitoly, které jsme zanalyzovali z hlediska bilance energií. Nyní se na tyto dny podíváme z pohledu spotřeby energie podle typu. Konkrétní rozdělení spotřeby je následující:

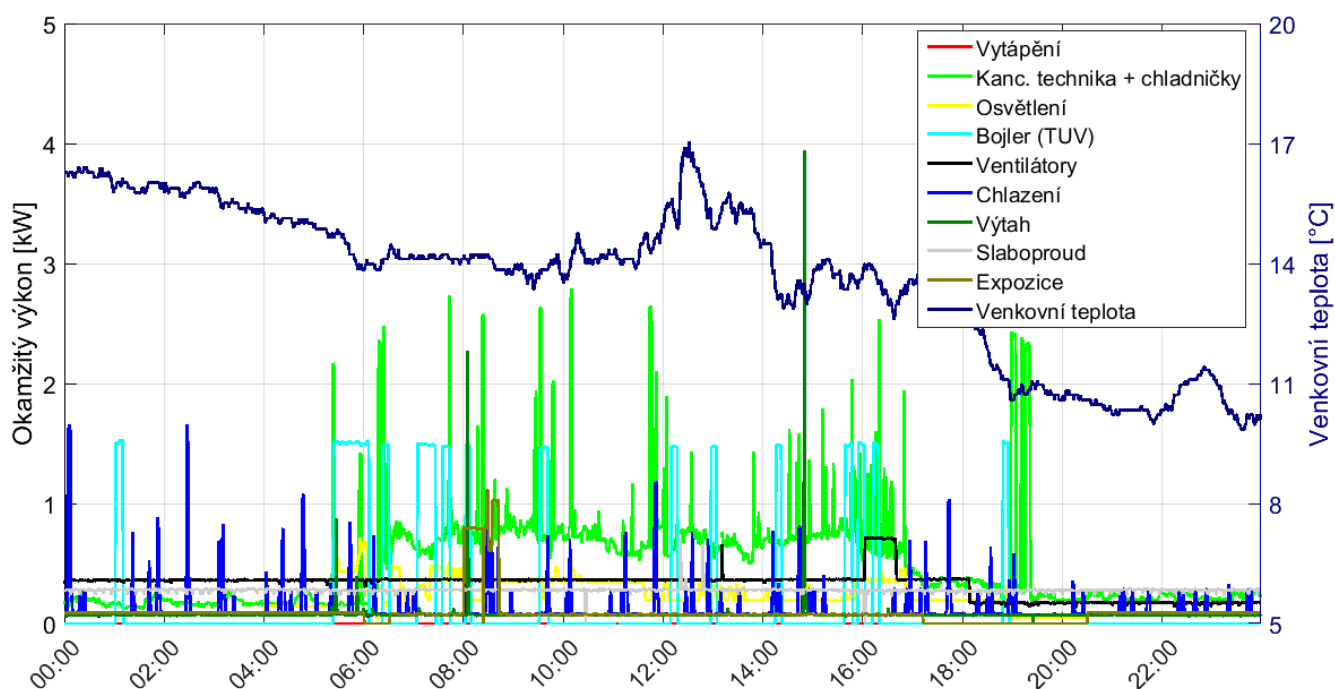
- Vytápění
- Kanc. technika + chladničky (zásuvky)
- Osvětlení
- Bojler (TUV)
- Ventilátory
- Chlazení
- Výtah
- Slaboproud
- Expozice

Všechny typy spotřeby byly vyneseny do grafu v kW okamžitého výkonu v závislosti na čase a na druhé ose y byla vynesena teplota venkovního prostředí.

7.3.1 Detail spotřeby pro 14. 7. 2016

V prvním detailu ze dne 14. 7. 2016 je patrné, že i když se jednalo o červenec, venkovní teploty se pohybovali mezi 10-17°C. V tento den byly také poměrně vysoké srážky, což mělo za následek vyšší spotřebu energie pro chlazení. Chlazením se upravují parametry vzduchu v místnostech – především tedy v našem případě vzdušná vlhkost, která je při srážkách vyšší, než jsou požadované parametry vzduchu v místnosti. Ze stejného důvodu je také ventilace zapnuta prakticky po celý den. Ta snižuje výkon až kolem 18. hodiny a podle sníženého výkonu chlazení, lze usoudit, že srážky ustaly. Největším konzumentem energie je v tento den kancelářská technika, která prakticky nemění svůj charakter odběru, co se týká pracovních dní.

Obrázek 7.15 - Detail spotřeby podle typu pro 14. 7. 2016

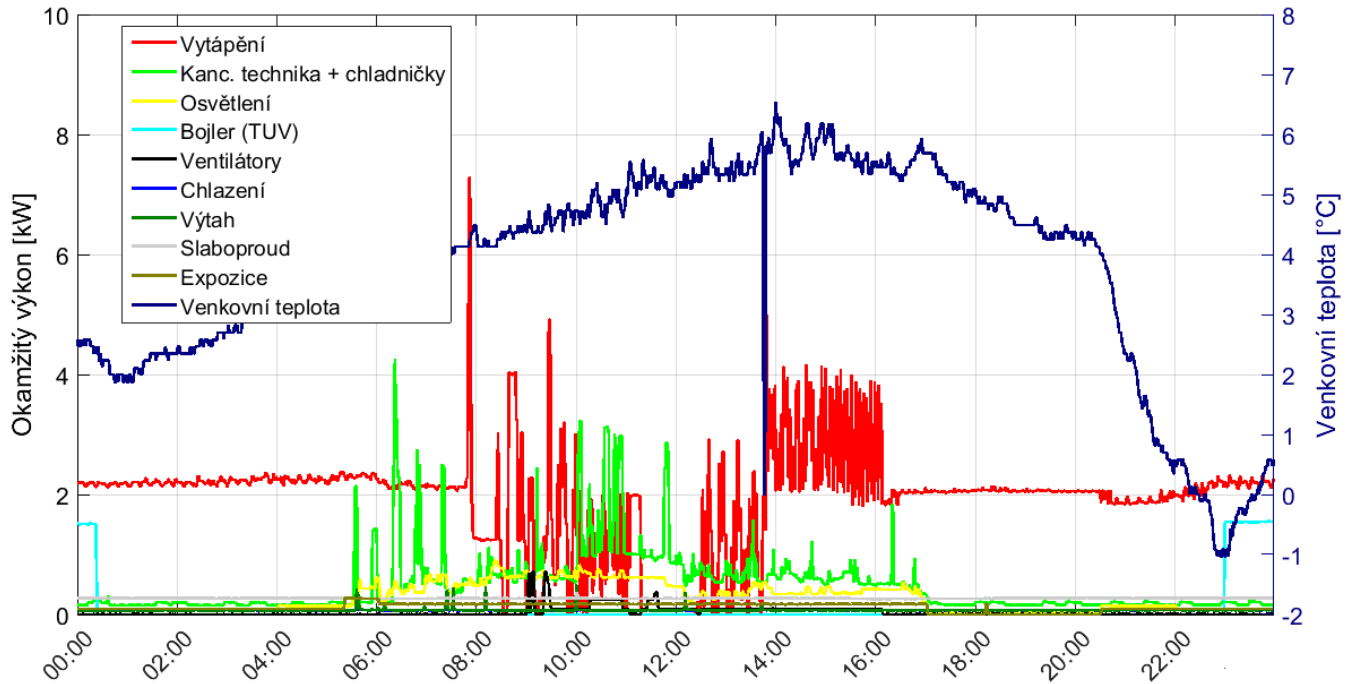


7.3.2 Detail spotřeby pro 6. 10. 2016

V měsíci říjnu se budova již začala vytápět, což také můžeme vidět na přiloženém grafu - Obrázek 7.16. Budova je, jak vidíme temperována i mimo pracovní dobu sníženým výkonem jednotlivých topných prvků. Okolo 23. hodiny je patrný lehký nárůst výkonu vytápění z důvodu poklesu venkovní teploty pod bod mrazu. Prokmitý v křivce

vytápění jsou způsobeny aktuálními nároky v jednotlivých místnostech, což je asi největší výhoda vytápění elektrickou energií – teplo je okamžitě k dispozici v místě potřeby. Bojler s TUV se nahřívá v noci, kdy jsou nejmenší požadavky na elektrickou

Obrázek 7.16- Detail spotřeby podle typu pro 6. 10. 2016

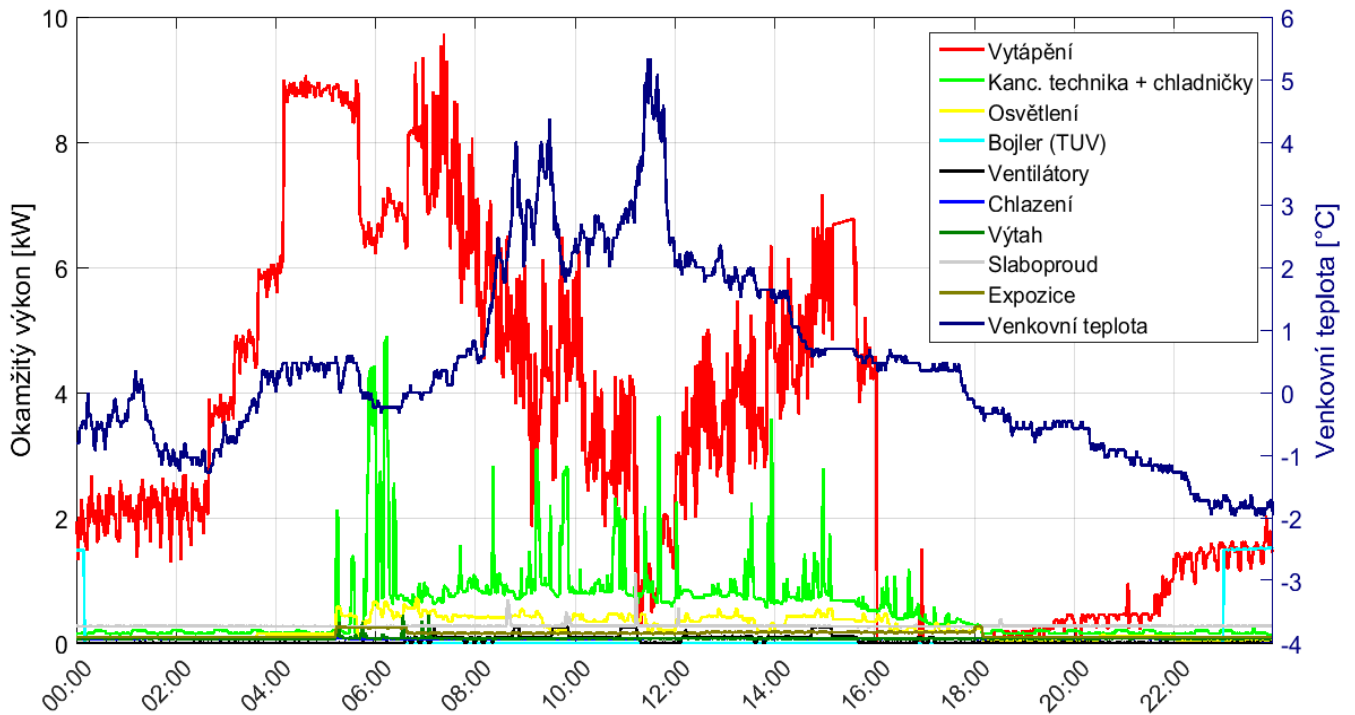


energii. Kancelářská technika a osvětlení mají prakticky stejný průběh jako v předchozím případě na Obrázek 7.15. Ostatní technologie mají v tento den nulovou nebo velmi nízkou spotřebu.

7.3.3 Detail spotřeby pro 11. 11. 2016

V listopadu již naplno běží elektrické vytápění objektu a venkovní teploty se pohybují okolo bodu mrazu. Nárůst výkonu topných těles je zcela patrný kolem 3. h ranní - Obrázek 7.17. Budova je vytápěna až na provozní teplotu. Na průběhu spotřeby pro vytápění a teploty můžeme vidět, že při vzestupu teploty se omezí výkon topných těles a naopak. Vytápění je spuštěno až do 16. hodiny, kdy končí pracovní doba. Poté je budova udržována s nižší teplotou.

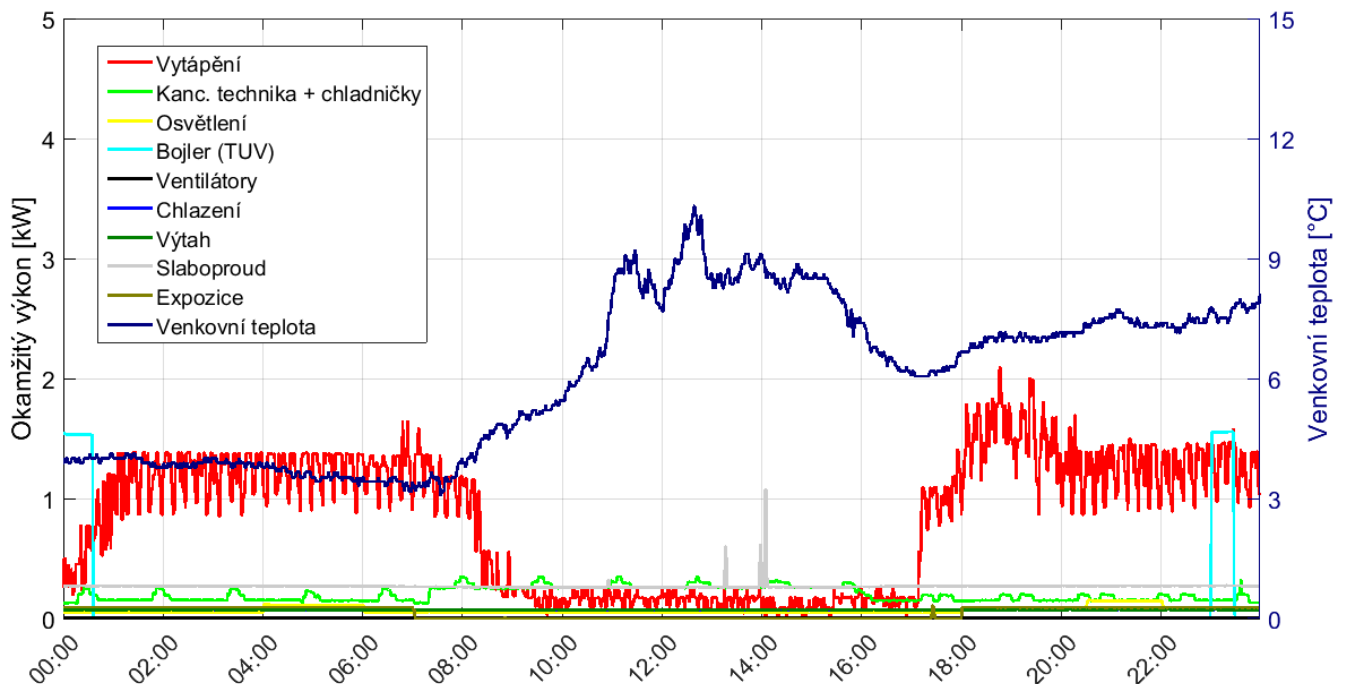
Obrázek 7.17 -Detail spotřeby podle typu pro 11. 11. 2016



7.3.4 Detail spotřeby pro 5. 11. 2016 – víkendový den

V posledním detailu spotřeby se podíváme na víkendový den 5. 11. 2016 - Obrázek 7.18. Vidíme, že teploty jsou v rozmezí cca 3 – 9°C. Vytápění je zapnuto především v noci, aby teploty v místnostech nepoklesly, pod stanovenou mez. Kancelářská technika a chladničky nemají téměř žádný odběr v porovnání s pracovním dnem. Malé lokální

Obrázek 7.18 - Detail spotřeby podle typu pro 5. 11. 2016 - víkendový den



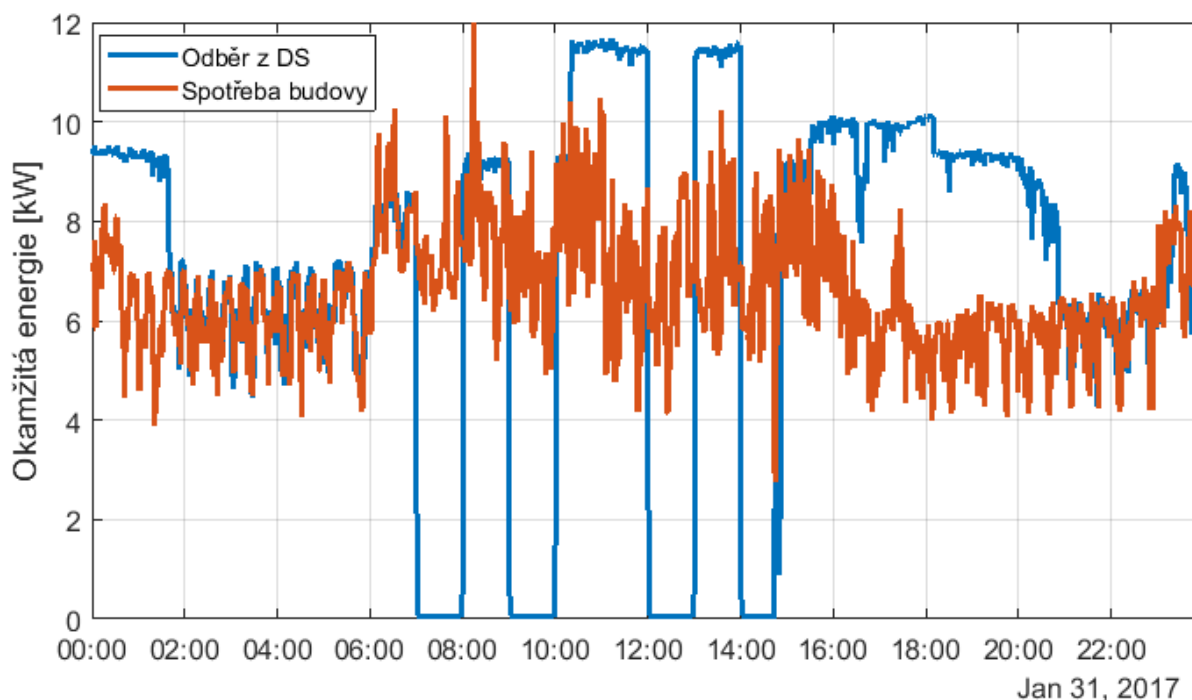
maxima výkonu můžeme přičítat k zapínání kompresoru v chladničkách. V těchto dnech má v poměru k ostatním spotřebičům vyšší spotřebu i slaboproud, který svůj profil spotřeby téměř nemění. Osvětlení není o víkendu vůbec zapnuto a ostatní typy mají buď nulovou, nebo zanedbatelnou spotřebu.

8 Popis testovacích režimů v administrativní budově

8.1 Řízení s ohledem na NT/VT⁸

V období 10/2016 – 02/2017 byl v budově použit testovací režim s ohledem na nízký a vysoký tarif. V systému bylo umožněno nabíjení v NT i přes den, což je důležité pro překlenutí odběrových maxim při topení. Tento režim je vhodné použít především v době kdy je intenzita slunečního záření na nižší úrovni. To znamená především období podzim-zima. FV pole na budově nedokáže ve většině případů dodat dostatek energie do baterií, aby SOC baterií bylo na konci dne na vysoké úrovni. VT je v našem případě aplikován 4x denně.

Obrázek 8.1 – Řízení s ohledem na NT/VT



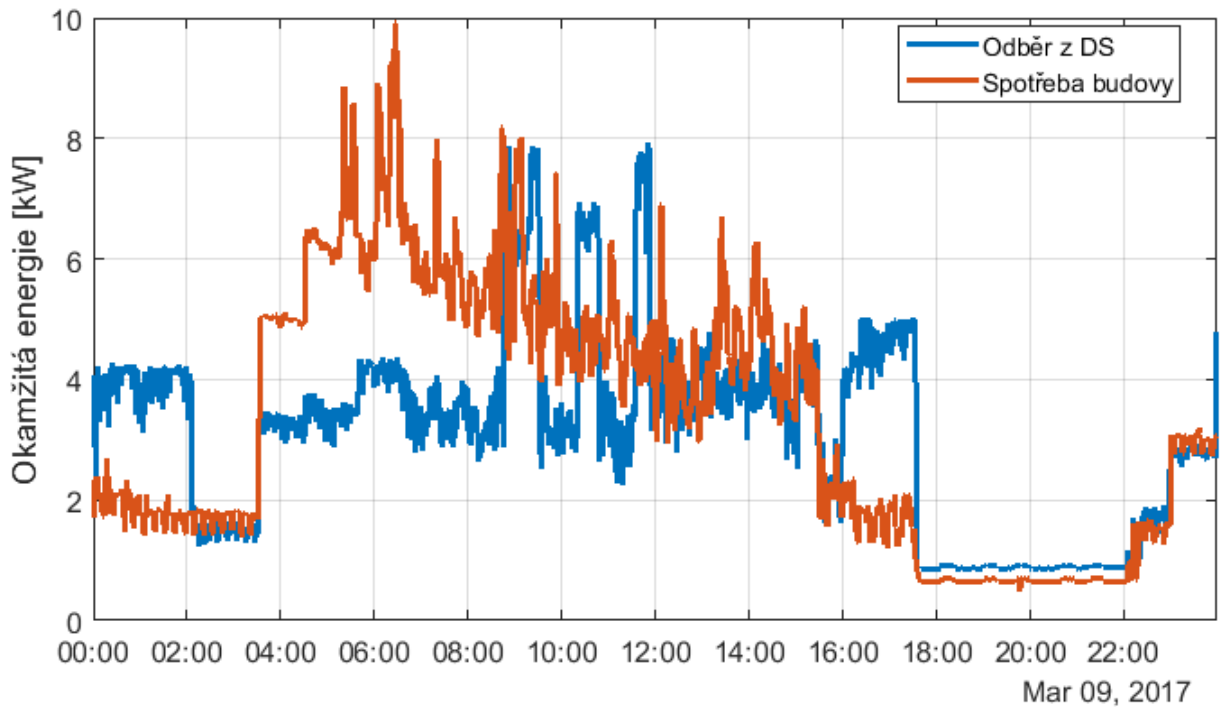
8.2 Řízení akumulace pro omezení odběrových špiček

Tento postup byl implementován od 03/2017 do 05/2017. Odběrové špičky jsou v této budově mezi 6-10h ranní, kdy se budova „připravuje“ na příchod zaměstnanců. Tzn. Je zapnuto vytápění, cirkulace vzduchu, v případě letního období chlazení také osvětlení. Poté kolem 12h a mezi 14-16h. V těchto dobách je také účtován vysoký tarif

⁸ NT – nízký tarif, VT – vysoký tarif, jedná se o cenové tarify spotřeby elektrické energie

elektrické energie, proto je žádoucí tyto špičky z co největší části pokrýt akumulovanou energií z baterií.

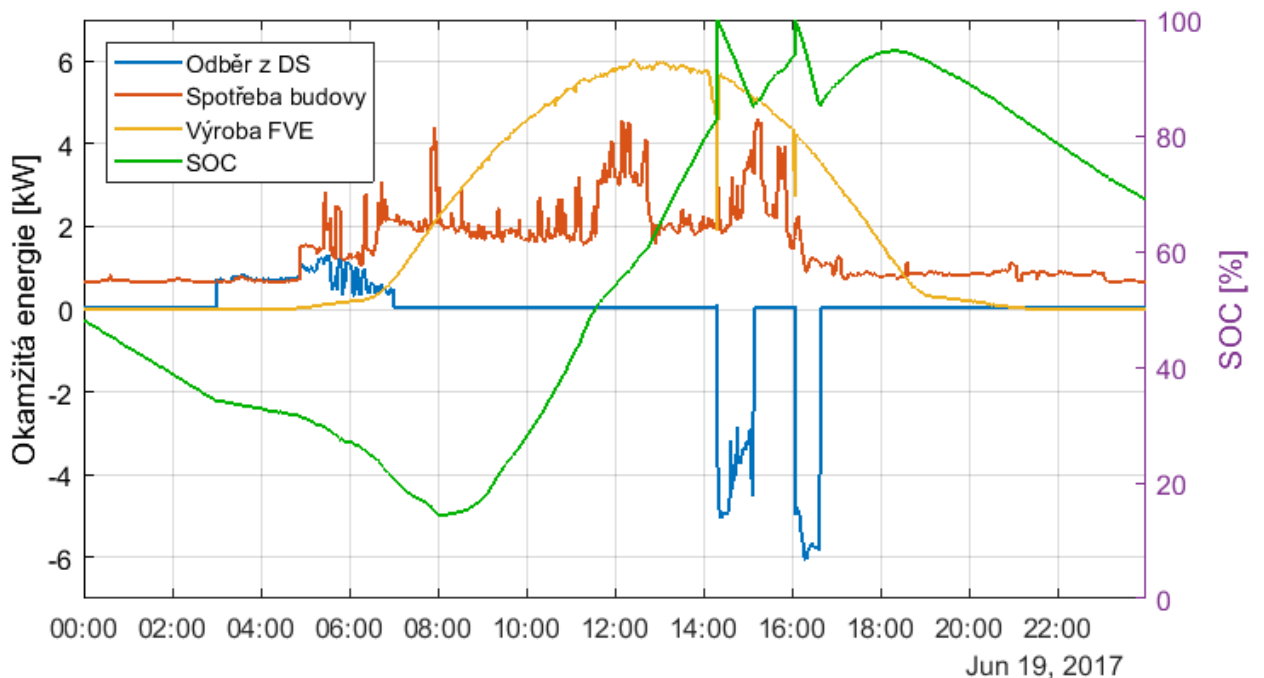
Obrázek 8.2 -Řízení akumulace pro omezení odběrových špiček



8.3 Inovace řízení pomocí predikce osvitů

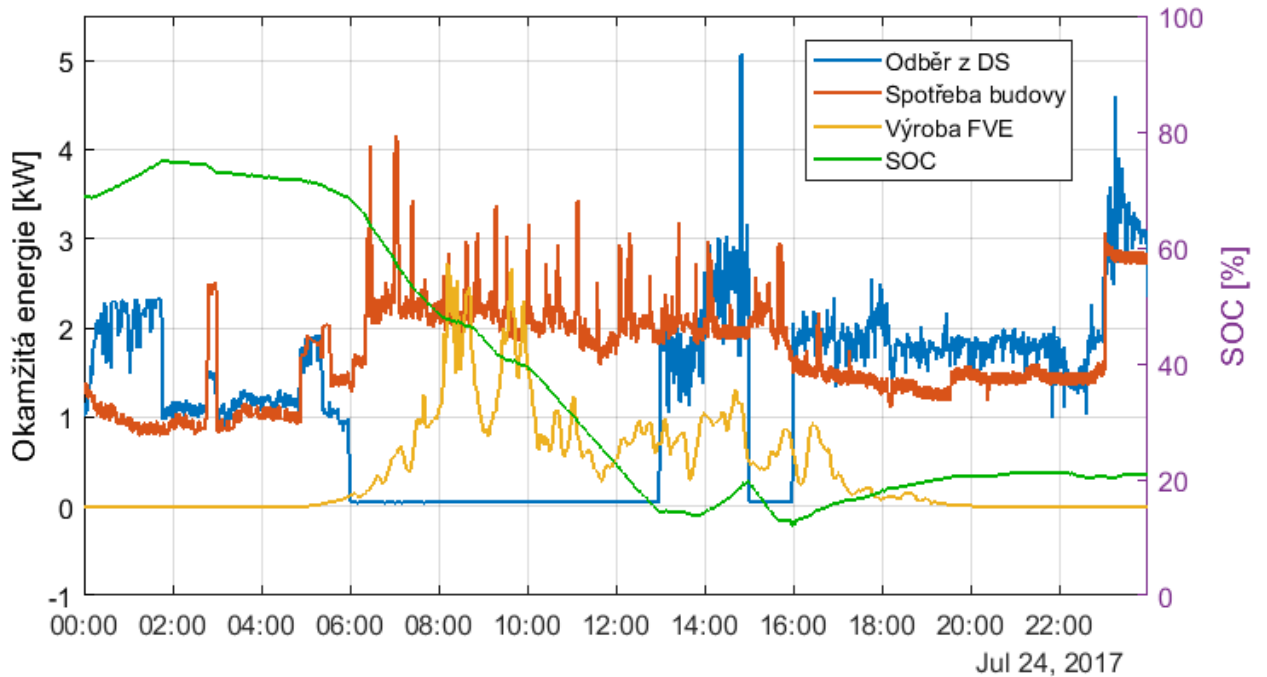
V dalším testovacím režimu, který probíhal od 06/2017 do 08/2017, byla instalována inovace v rámci řízení pomocí predikce osvitů PV Nowcast. V rámci tohoto období byl také aplikován režim, již jednou použitý a to NT/VT. Tentokrát s tím, že VT je aplikován

Obrázek 8.3 - Inovace řízení pomocí predikce osvitů, VT celé dopoledne, vysoká intenzita záření



na celé dopoledne. Jak můžeme vidět v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, díky vysoké produkci energie z FV panelů, není potřeba dodávat energii z DS. Ve dvou úsecích dne je dokonce energie do sítě dodávána, protože baterie byla plně nabita a predikce osvitu byla nadále vysoká. Konkrétně to jsou časy mezi 14-15h a 16-17h.

Obrázek 8.4 - Inovace řízení pomocí predikce osvitu, VT celé dopoledne, nízká intenzita záření



Na Obrázek 8.4 vidíme nízkou intenzitu záření po celý den, i tak je ale energie stále využívána z baterií, protože následující den je predikována mnohem větší intenzita slunečního záření, tudíž se zachovává nízké SOC předtím, než FVE začne produkovat energii.

9 Model HFVS – MATLAB & Simulink

9.1 Tvorba modelu

9.1.1 Fotovoltaický modul

Výkon fotovoltaického modulu je obvykle měřen při teplotě 25°C a při ozáření 1 kW/m². Nicméně moduly jsou často provozovány při vyšších teplotách a poněkud nižších hodnotách slunečního ozáření. Pro výpočet výsledného výkonu je proto velmi důležité určit předpokládanou provozní teplotu fotovoltaického modulu. K jejímu výpočtu se používá takzvaná jmenovitá provozní teplota článku, anglicky „Nominal Operating Cell Temperature“, odtud také zkratka NOCT. NOCT je definována jako teplota, která je dosažena fotovoltaickými články zapojenými naprázdno v modulu, který je vystaven následujícím podmínkám:

1. Osvit na povrch článku – 800 W/m²
2. Teplota vzduchu – 20°C
3. Rychlost větru – 1 m/s
4. Čidlo je upevněno na zadní straně článku

Nejlepší moduly pracují při NOCT kolem 33°C, nejhorší na hodnotě 58°C. Průměrný běžný modul má NOCT 48°C. V případě modulů instalovaných na administrativní budovu Fénix je NOCT = 45°C +/- 2K. Zjednodušený vztah pro výpočet teploty článku je uveden v [16] jako:

Rovnice 1 – Výpočet teploty fotovoltaického modulu [17]

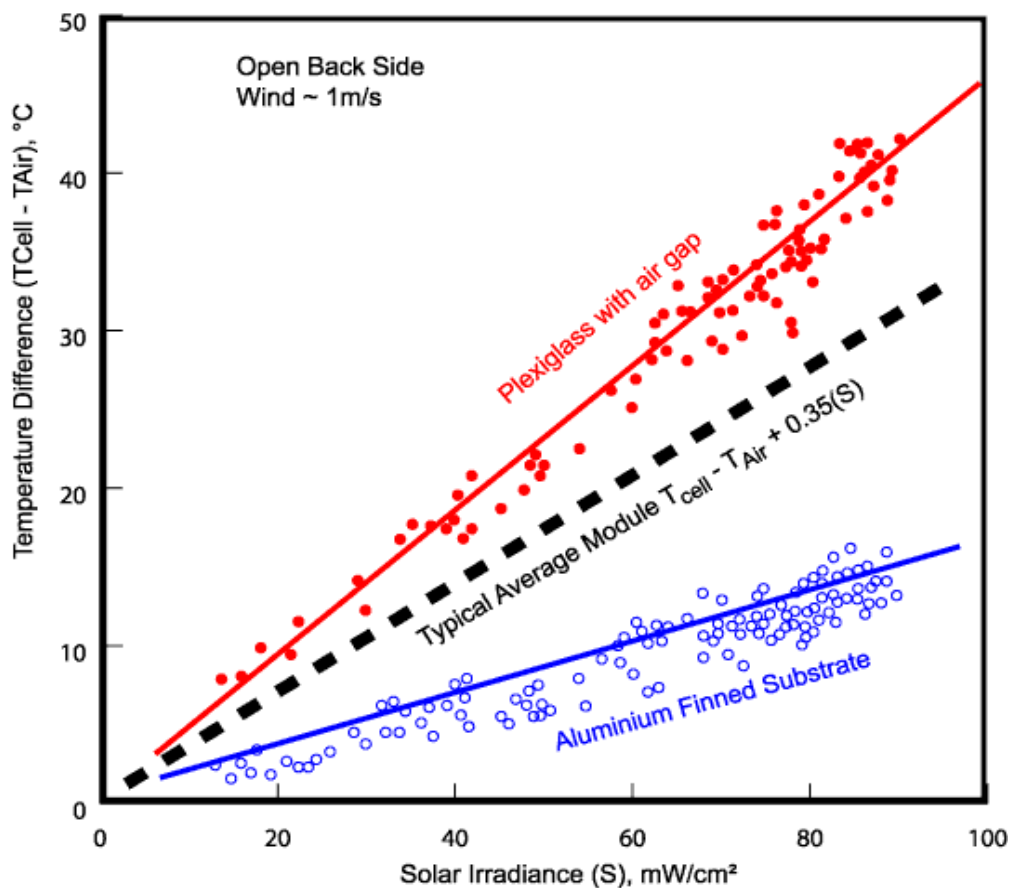
$$T_{cell} = T_{air} + \frac{NOCT - 20}{800} G$$

Teplota modulu bude nižší, pokud se zvýší rychlost větru. Pokud však bude bezvětří, bude teplota modulu vyšší. Pro zjednodušení modelu je však možné vliv rychlosti větru zanedbat. Tuto teplotu následně použijeme při výpočtu výsledného výkonu celého fotovoltaického pole, které je instalováno na administrativní budovu. Celkový výkon závislý na teplotě článků spočteme jako:

Rovnice 2 - Výpočet výkonu fotovoltaického pole [18]

$$P_{out} = P_{inst} \frac{G_T}{G_{T,STC}} [1 + \alpha_P (T_{cell} - T_{cell,STC})]$$

Obrázek 9.1 - Závislost teploty článku na osvětlení pro různé typy modulů [29]



Teplotní koeficient výkonu udává pokles výkonu fotovoltaického panelu v závislosti na rostoucí teplotě fotovoltaických článků, ze kterých jsou složeny fotovoltaické panely. Maximální výkon panelů, totiž klesá s jejich rostoucí teplotou.

Tabulka 3 - Typické průměrné hodnoty teplotního koeficientu výkonu [19]

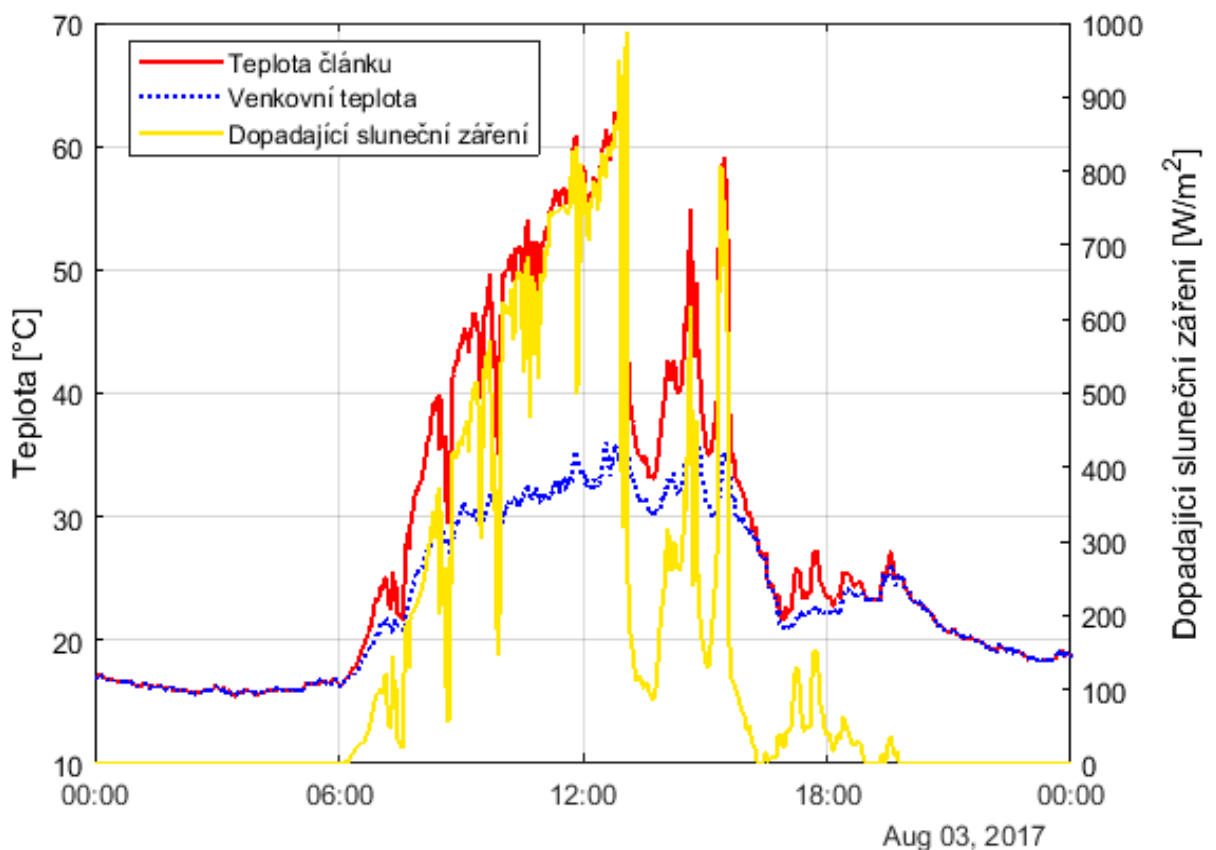
Typ FV modulu	Průměrné hodnoty α_P [%/°C]
Polykrystalický křemík	-0.48
Monokrystalický křemík	-0.46
Monokrystalický/amorfní křemík hybridní	-0.30
Tenkvrstvý amorfnní křemík	-0.20
Tenkvrstvý CIS ⁹	-0.60

Tedy typická hodnota teplotního koeficientu výkonu pro fotovoltaické panely vyrobené z polykrystalického křemíku je -0.48 %/°C. To znamená, že při změně teploty o

⁹ CIS – označení podle počátečních písmen v periodické tabulce prvků (měď, indium, selen)

25 °C dojde ke změně výkonu o více než 10%. Nižší výkon panelů je možné pozorovat především při vysokých letních teplotách, kdy se panely nadměrně zahřívají, někdy až k hodnotám kolem 60 °C. V grafu na Obrázek 9.2 můžete vidět průběh teploty článku ze dne 3. 8. 2017. Zde lze vidět závislost teploty článku na dopadajícím záření. V noci, kdyse dopadající záření rovná nule, je teplota článku totožná s teplotou okolí. Naopak ve dne teplota článku roste s intenzitou slunečního záření.

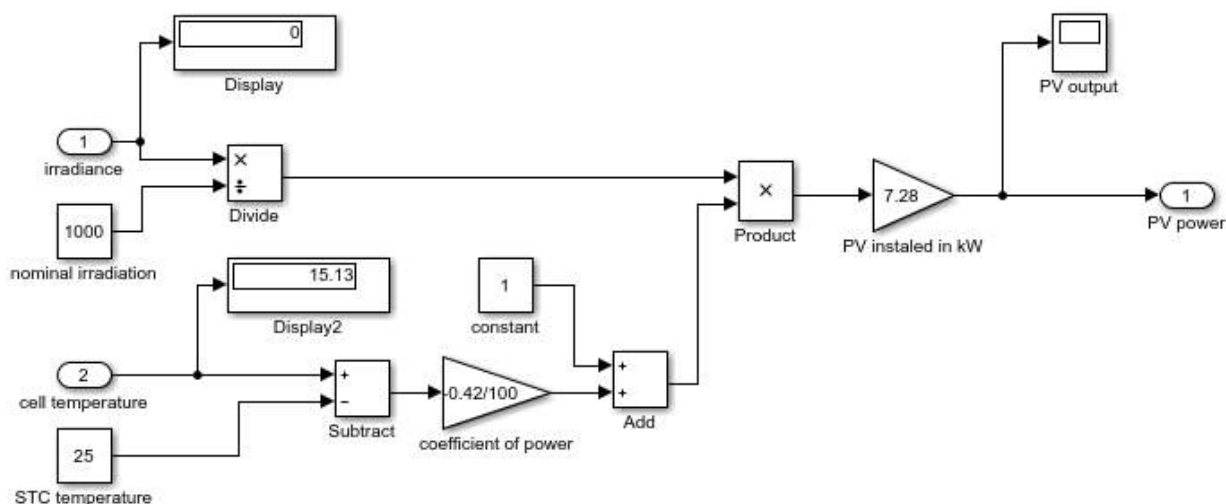
Obrázek 9.2 - Průběh teploty článku, okolní teploty a dopadajícího záření pro 3.8.2017



Na Obrázek 9.3 je znázorněn model produkce FV pole v programu Simulink. Vstupem jsou dvě veličiny – intenzita dopadajícího slunečního záření a teplota FV článků. Dopadající záření je měřeno přímo na FV panelech administrativní budovy a teplota FV článků, byla spočtena na základě Rovnice 1. Tento modul je v modelu pojmenován jako „PV array“.

FV pole je k baterii připojeno přes regulátor nabíjení, který má omezen max. nabíjecí výkon. Proto je výstup z FV pole veden přes blok omezující výkon (v našem případě na 7kW) a vynásoben účinností nabíječe – 98%.

Obrázek 9.3 - Model FV pole - Simulink



9.1.2 Spotřeba

Spotřeba, kterou používáme v modelu, je skuteční naměřená na administrativní budově. Spotřeba je uvedena v kladných hodnotách, proto je nutné ji nejprve upravit tak, aby ubírala energii ze systému – viz Příloha č. 5 - Model HFVS v programu Simulink. Poté je skrze blok „discharging“, který omezuje maximální vybíjecí výkon, připojen k bloku bateriového uložení.

9.1.3 Bateriové uložení

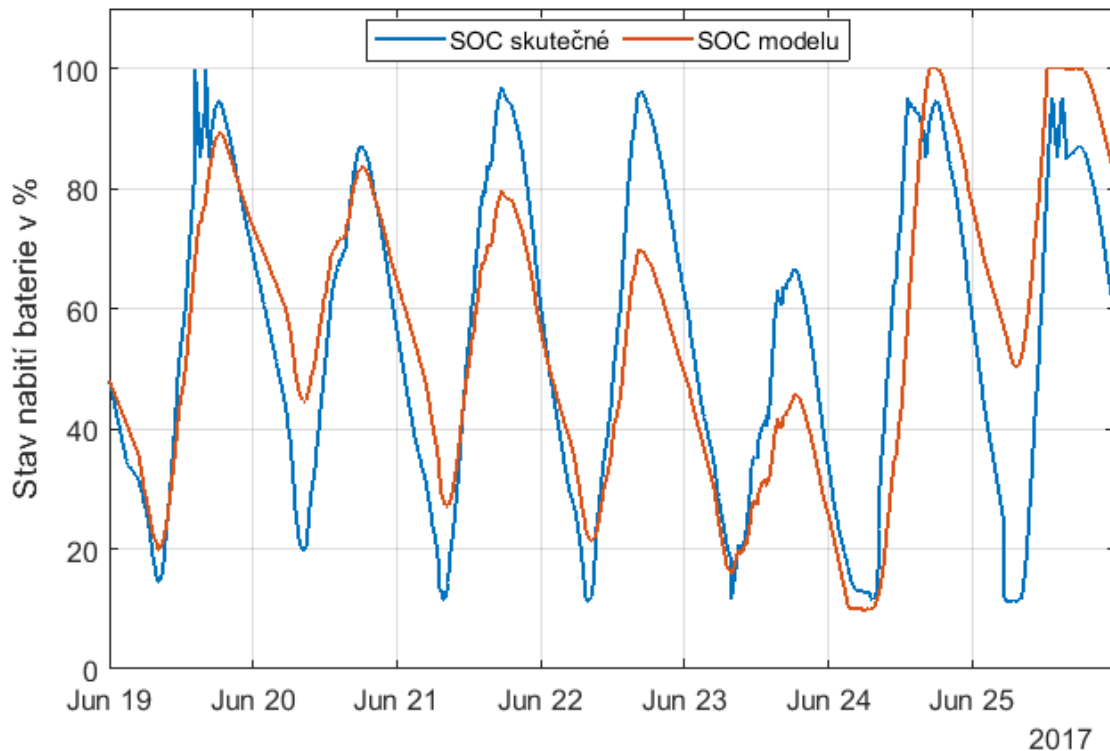
Je v modelu reprezentováno integračním blokem, do kterého přichází signál dělený časovou konstantou. V našem případě je časová konstanta 60 (minutová data) a kapacitou bateriového uložení v kWh. Výstupem z integračního bloku je SOC. SOC je poté přes zpětnou vazbu přiveden do rozhodovacích členů – „charging/discharging decider“. Tyto členy vyhodnocují, zda je možné baterii ještě nabíjet – tzn. SOC < 100%, nebo zda je možné dále vybíjet – SOC > 10%. Obě hodnoty jak maximální, tak minimální požadované SOC lze v modelu nastavit. Všechny výše popsané bloky viz. Příloha č. 5 - Model HFVS v programu Simulink.

Síť budovy je reprezentována sčítacím blokem s názvem „building“, který si můžeme představit jako hlavní rozvaděč v budově. Funkce hybridních měničů, jsou zde rozděleny do dvou bloků. Prvním blokem je účinnost. Ta se v případě našich inverterů pohybuje kolem 92 %. Druhým blokem je konstanta maximálního vybíjení – maxPdischarge. Ta definuje, jaký maximální vybíjecí výkon může skrz měniče procházet.

9.2 Výsledky modelu

Model, který byl vytvořen v simulačním programu Simulink je zjednodušeným modelem skutečného provedení HFVS na administrativní budově Fénix. V modelu není uvažováno nabíjení baterie z DS, avšak i tak je model HFVS poměrně přesný.

Obrázek 9.4 - Porovnání naměřených dat SOC s modelem - 19.-25.6.2017

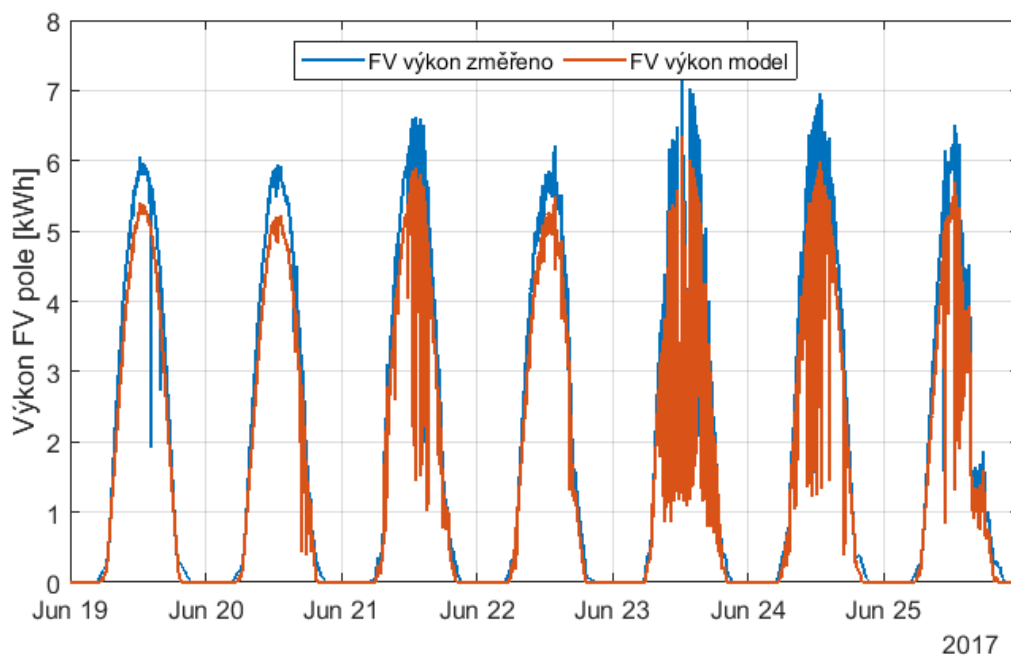


Pro porovnání modelu se skutečnými naměřenými hodnotami, jsem vybral týdenní údaje o SOC z 19.6 – 25.6.2017. Pro začátek je potřeba nastavit integrátor, který reprezentuje v modelu bateriové uložení na počáteční hodnotu, která je rovna SOC v začátku simulace – cca 48 % SOC. Jak vidíme na Obrázek 9.4 model se příliš od skutečnosti neliší. Stejně tak u dalších dvou důležitých simulovaných parametrů se model příliš neliší od skutečnosti. Výkon FV panelů (Obrázek 9.5) je v modelu lehce nižší, což můžeme přikládat několika faktorům:

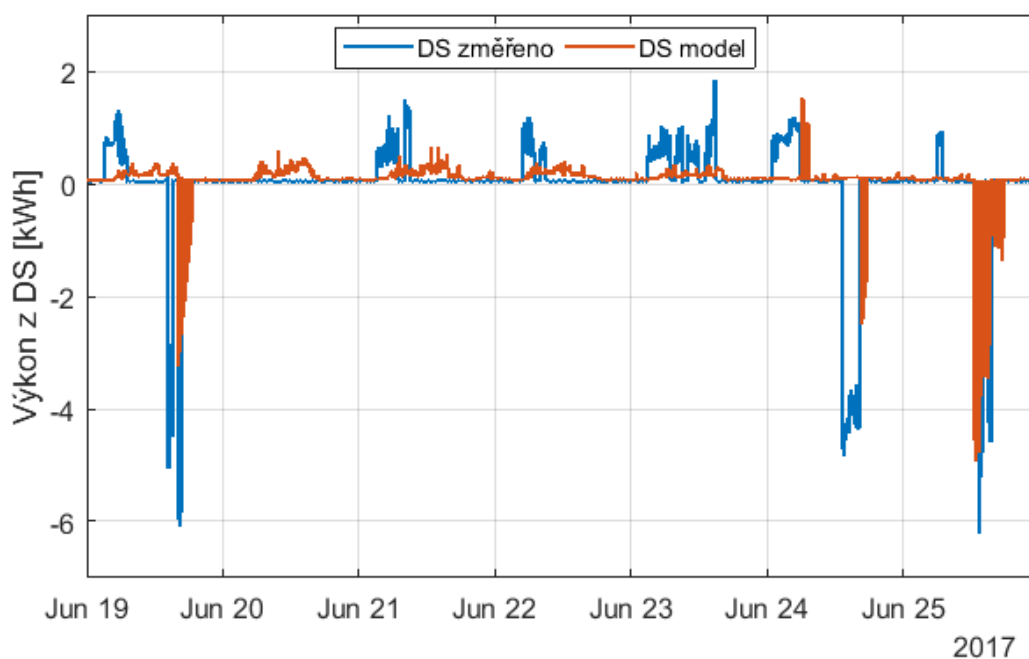
- čidlo osvit, ze kterého jsme čerpali data nepokrývá celé pole, tudíž někde může být intenzita větší a naopak
- výrobce solárního panelu udává +/- 2 K u NOCT¹⁰, ní vypočítáváme teplotu článku a poté také výkon celého pole.

¹⁰ NOCT – nominal operating cell temperature – jmenovitá provozní teplota článku

Obrázek 9.6 - Porovnání naměřených dat FV pole s modelem - 19.-25.6.2017



Obrázek 9.5 - Porovnání naměřených dat výkonu odebíraného z DS s modelem - 19.-25.6.2017



Stejně tak odběr energie z DS má velmi podobný průběh v obou případech. Rozdíl zde patrný, můžeme přičíst všem jednotlivým odchylkám, které vznikly zjednodušením modelu, ale také všem ostatním faktorům výše zmíněným.

10 Závěr

V úvodní části této práce jsme se seznámili s hybridními fotovoltaickými systémy. Přiblížili jsme si budovu společnosti Fénix Group a.s. jak z pohledu konstrukčního, tak z pohledu technologického. O něco podrobněji je pak popsán systém sběru dat, který je do všech technologických systémů implementován a na základě kterého je možné budovu pečlivě monitorovat a zkoumat.

Další částí práce bylo vyhodnocení dosavadního provozu budovy. K tomu sloužila data z PLC TECO, umístěného v budově ve 3. NP v hlavním rozvaděči. Pro import a úpravu dat bylo nutné vytvořit skripty a funkce v softwarovém programu Matlab R2017b. Z těchto dat potom vychází většina grafu v této práci. Byla podrobně zanalyzována spotřeba objektu, bilance energetických zdrojů a také profily spotřeby v určitých vytipovaných dnech.

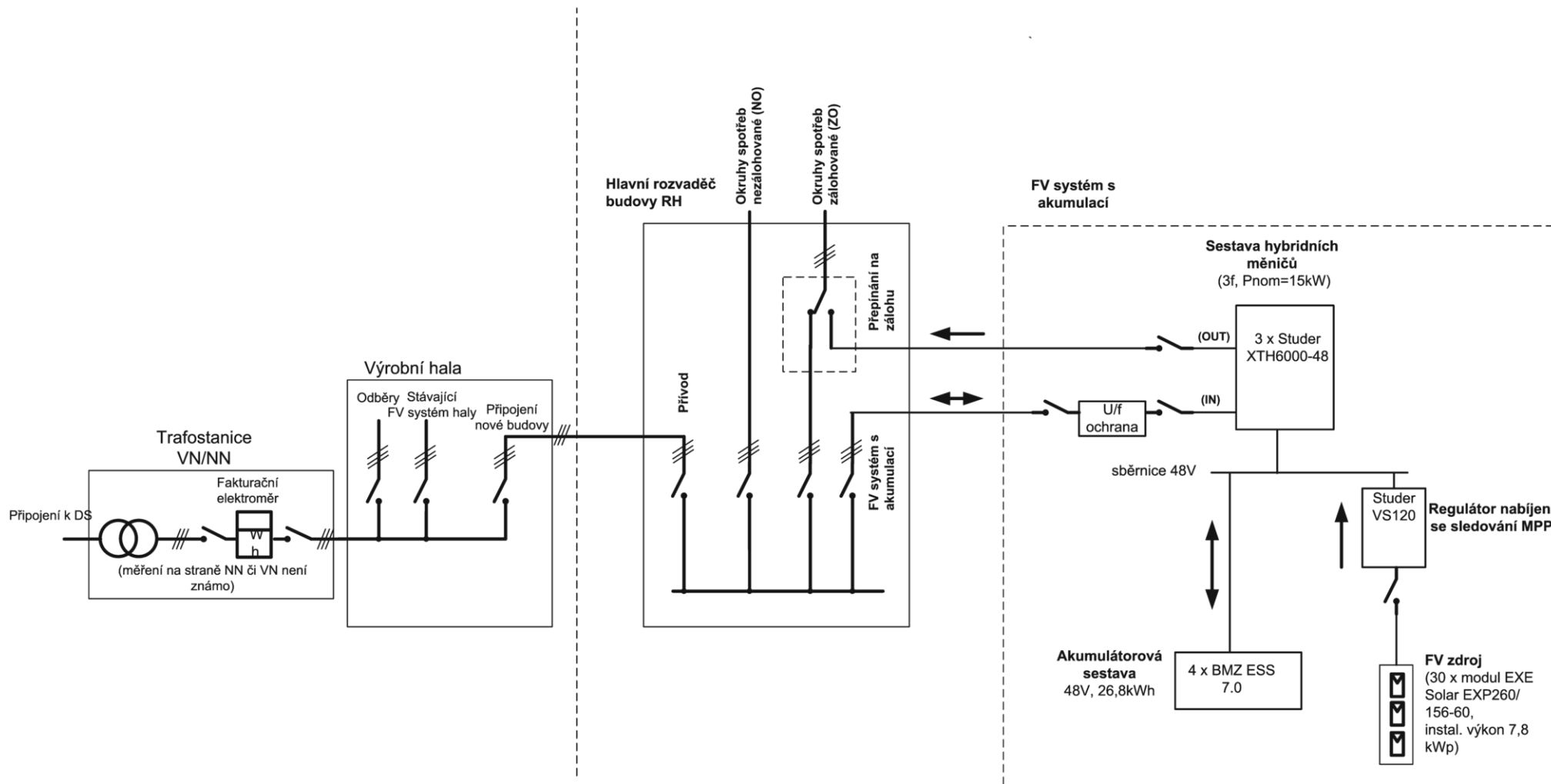
Ze všech testovacích režimů, které byly na budově vyzkoušeny, vyplývá, že kapacita akumulátoru je k vzhledem velikosti FV pole a velikosti spotřeby dostačující. Přetoky do DS jsou pouze výjimečné a dějí se především v letních dnech. V režimech VT potom bateriové uložení dobře kryje spotřebu budovy. Pro ještě lepší výsledky je však potřeba přesné predikce výroby i spotřeby v horizontu několika hodin. V zimním provozu FVE vyrobí minimum elektrické energie, je proto důležité baterii nabíjet ze sítě. V letním provozu je velmi důležitá výše zmíněná predikce výroby.

Vytvořený model HFVS přibližně odpovídá naměřeným hodnotám ze skutečného systému. Rozdíly lze přikládat k tomu, že byl systém zjednodušen pro potřeby modelu. Podstatným zjednodušením jsme získali model, který dokáže v krátkém čase simulovat chování systému v dlouhodobém časovém horizontu.

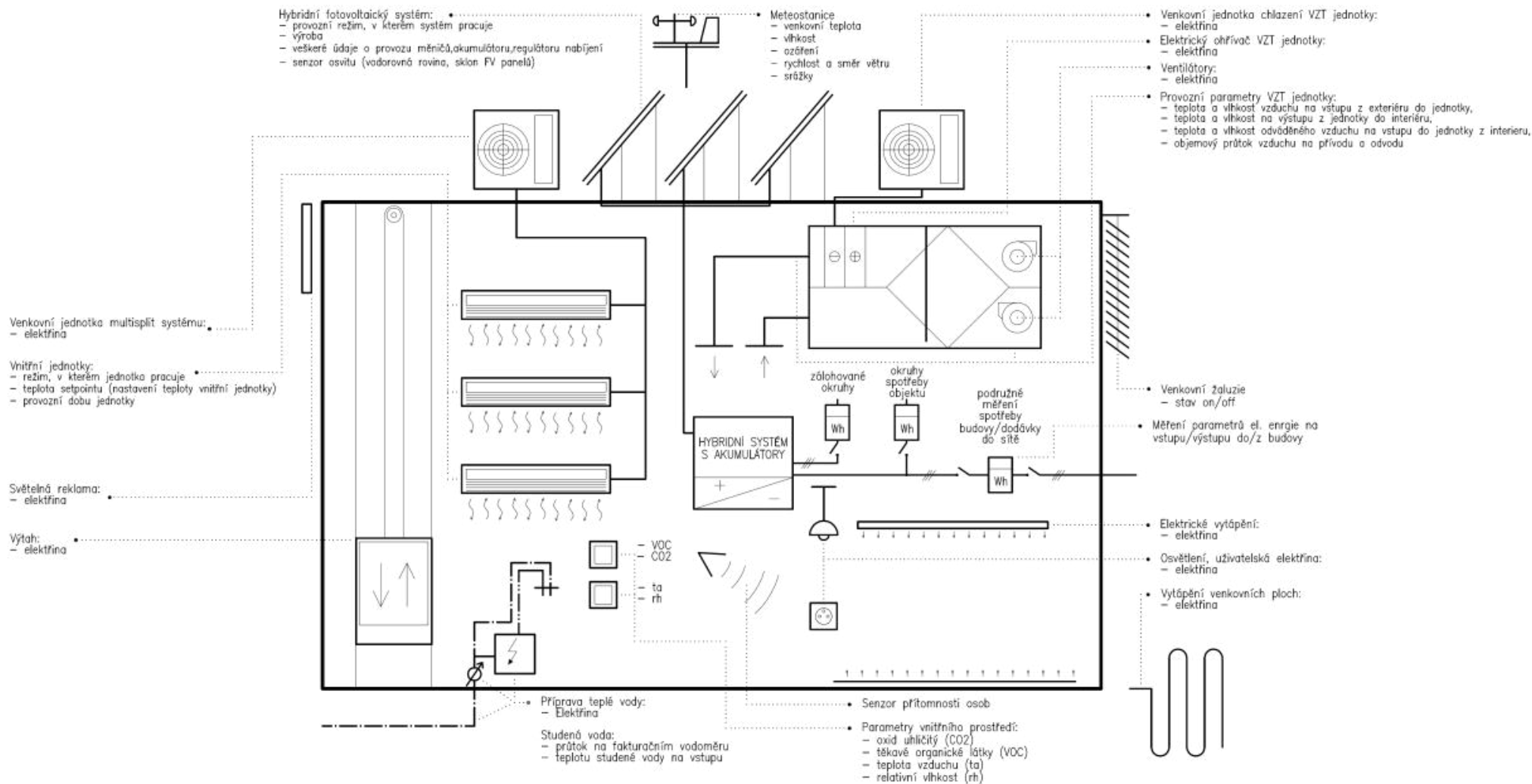
Pokračováním této práce by mělo být navržení vylepšení algoritmu řízení HFVS, jeho vymodelování a otestování. V rámci testovacího provozu administrativní budovy Fenix již bylo použito mnoho různých testovacích režimů, které pomohli více či méně ke zvýšení energetické efektivity. Poslední testovací režim řízení pomocí predikce osvitů PV Nowcast s užitím NT/VT (vysoký tarif celé dopoledne) je podle mne nejlepším možným řešením pro letní dny. Ostatně tento fakt je patrný i z Obrázek 9.6, kdy odběr z DS je za

celý týden pouze cca 10% z celkové spotřeby budovy. Tzn. systém je s tímto typem řízení ze zhruba 90% samostatný. Samozřejmě však jen v letní dny, kdy je intenzita slunečního záření vyšší než v zimě. Na druhou stranu v zimních dnech, je třeba dát velký důraz na nabíjení ze sítě v rámci NT.

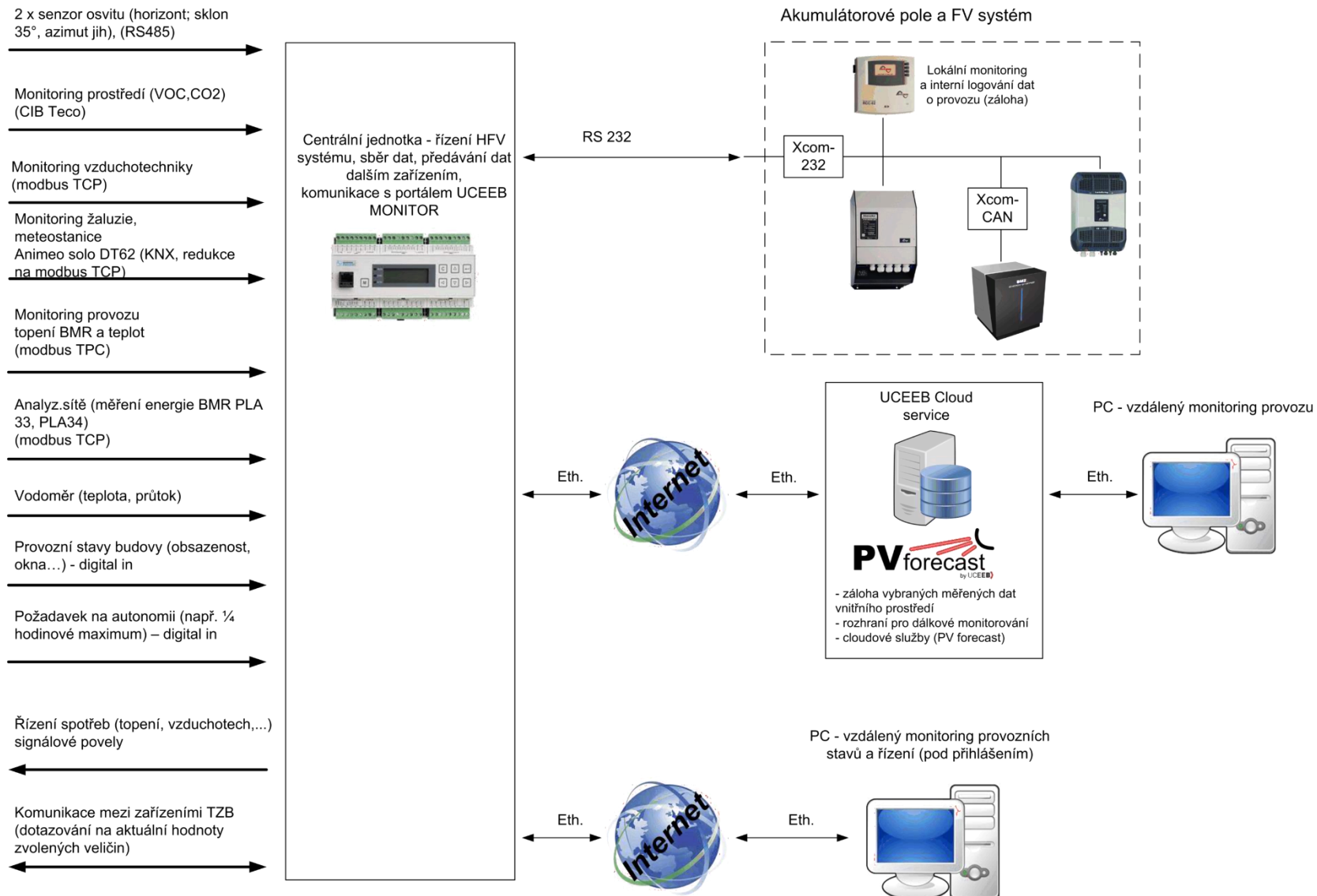
11 Příloha č. 1 – Blokové schéma energetiky budovy



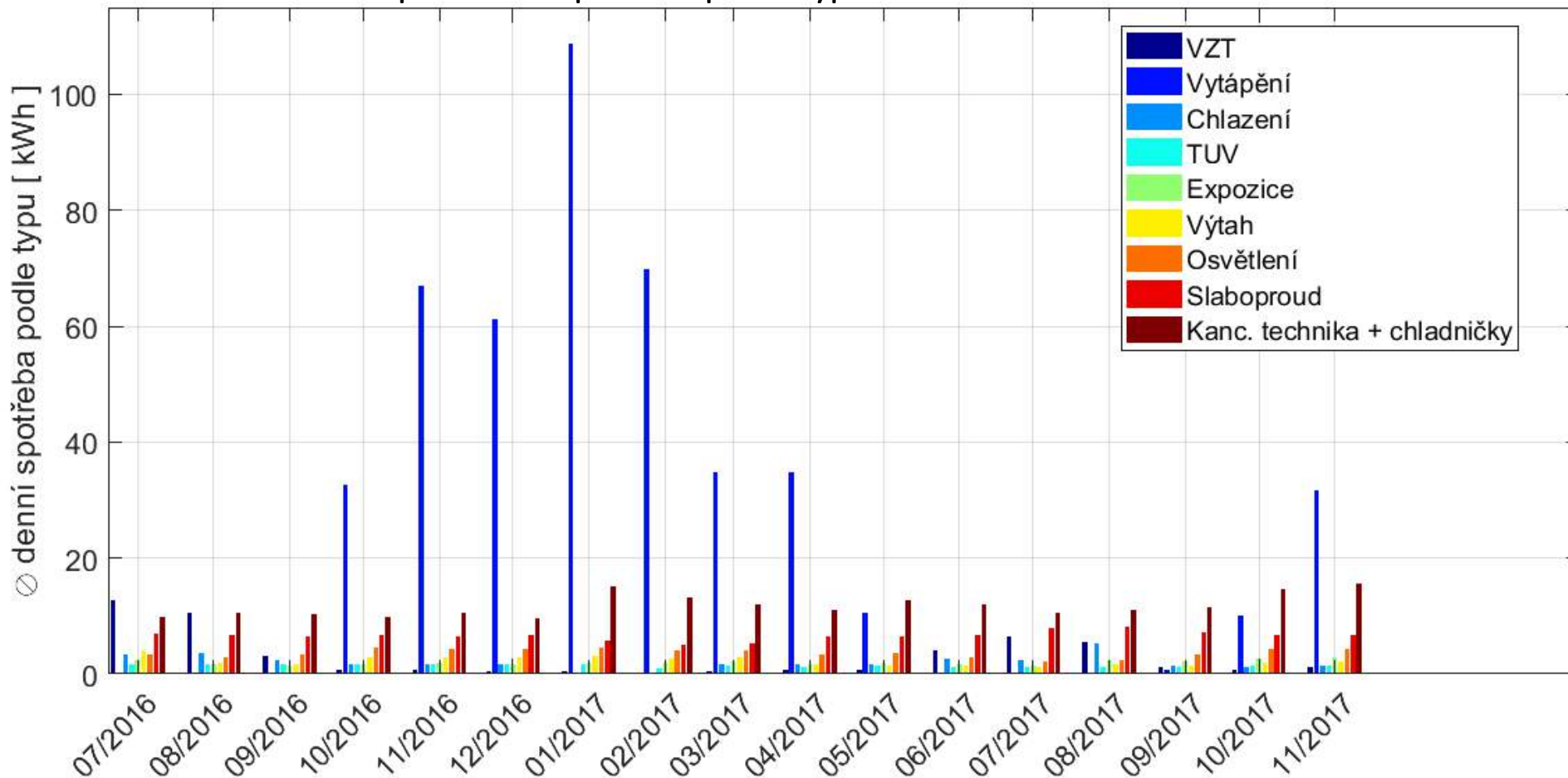
12 Příloha č. 2 - Schéma měřených veličin v budově

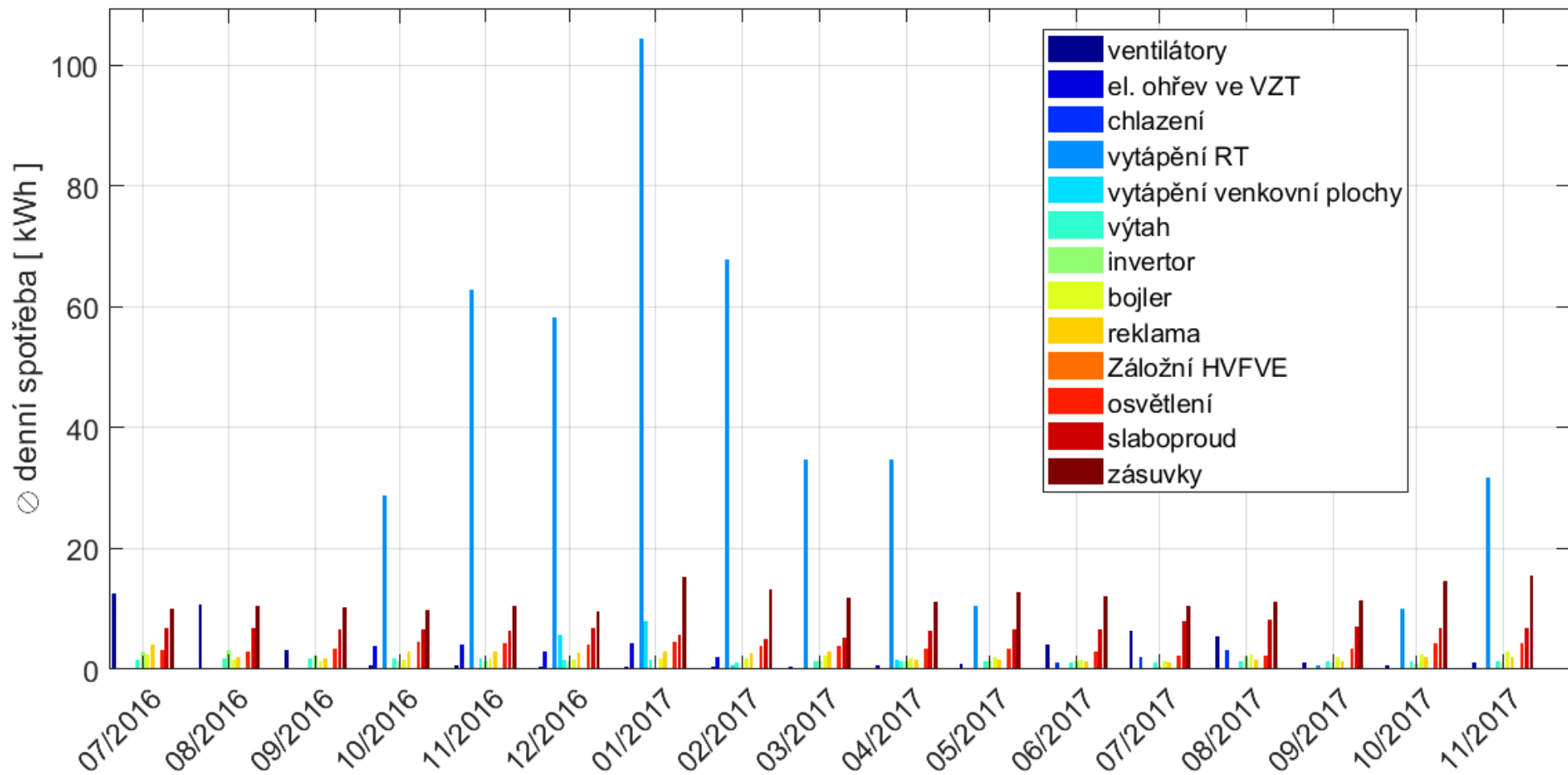


13 Příloha č. 3 – Blokové schéma datové komunikace



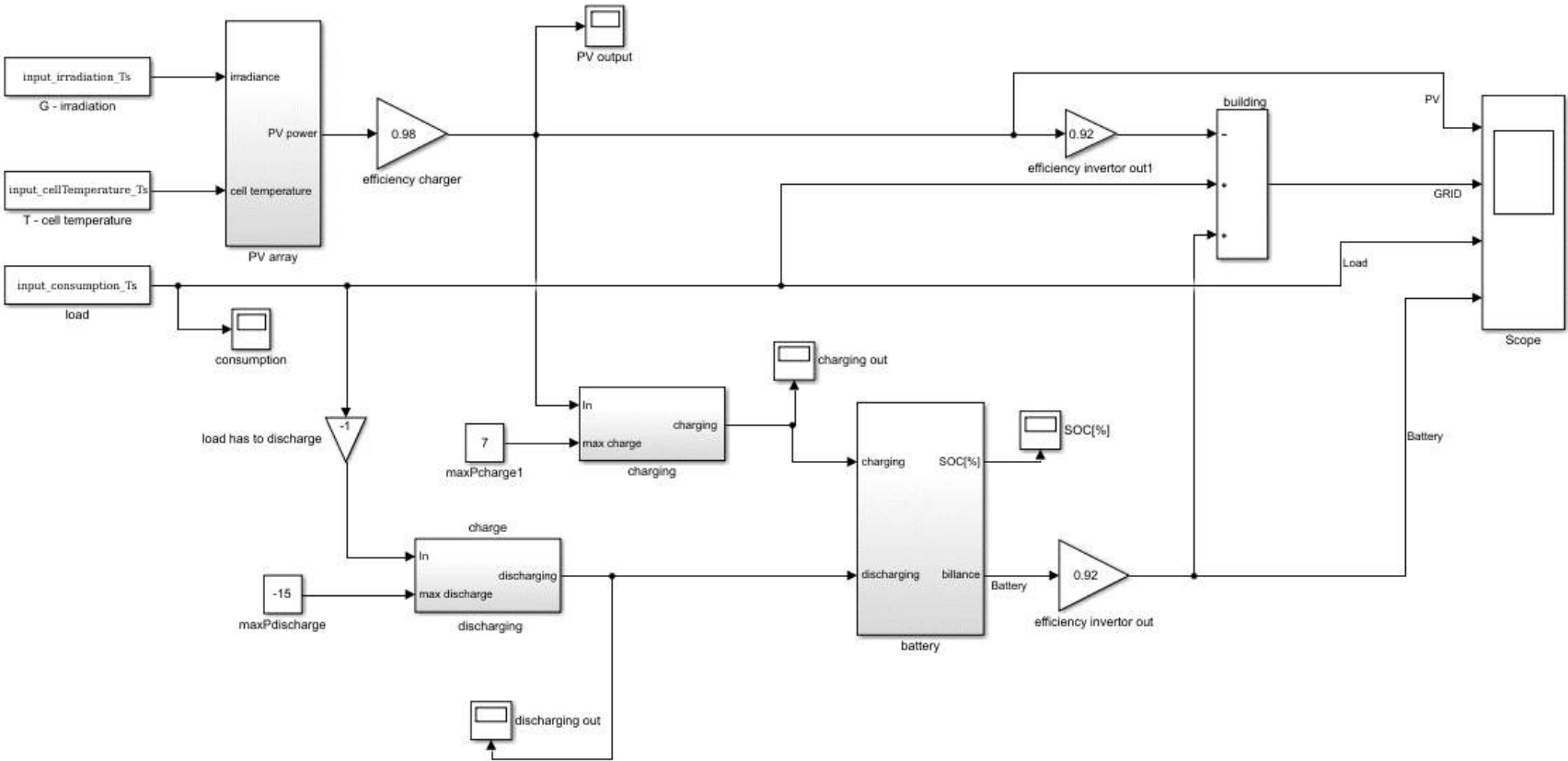
14 Příloha č. 4 - Denní průměrná spotřeba podle typu zařízení



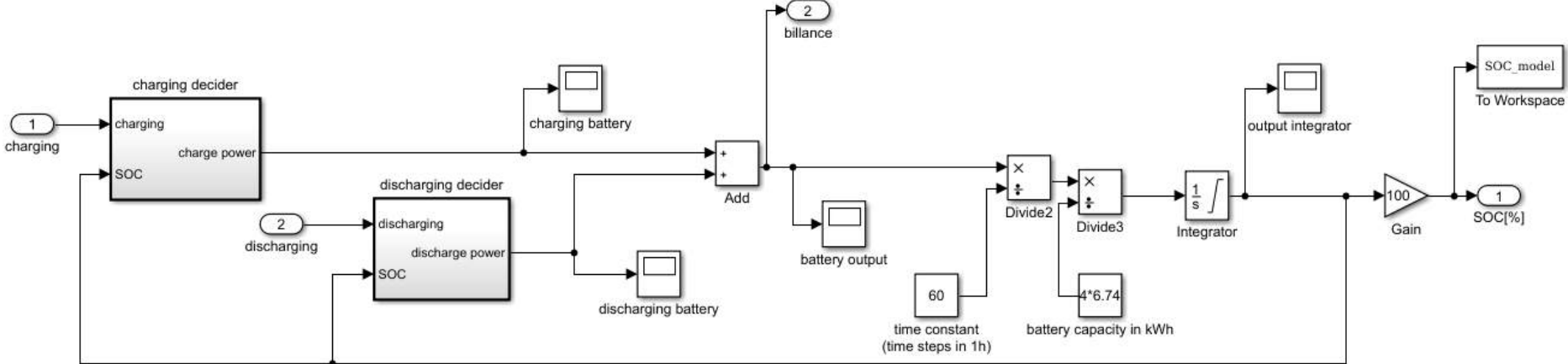


15 Příloha č. 5 - Model HFVS v programu Simulink

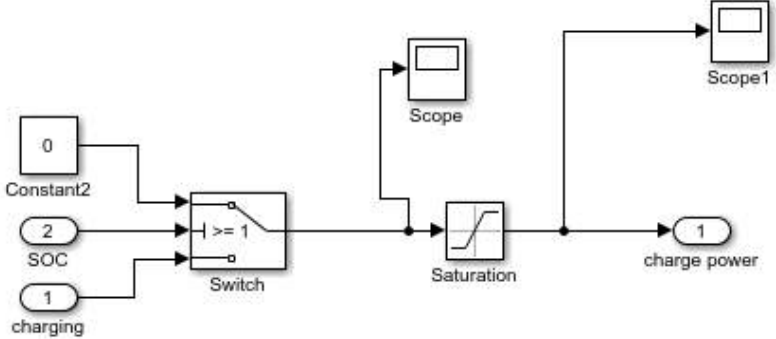
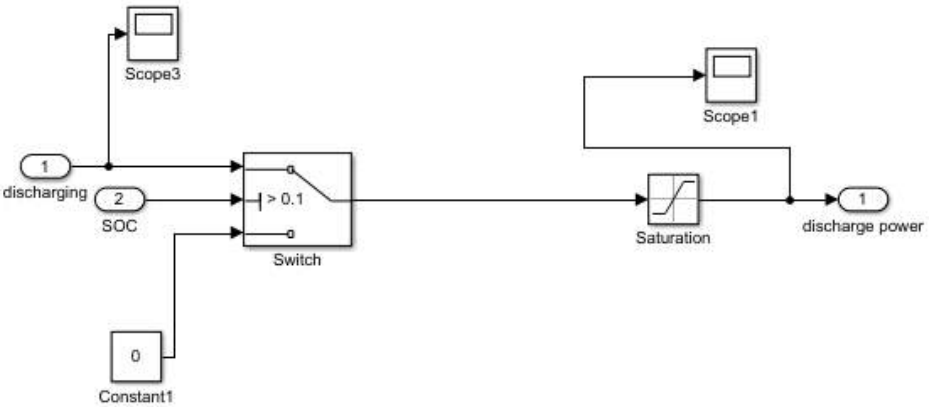
15.1 Celkový pohled na model



15.2 Model bateriového uložiče



15.2.1 Discharging decider / Chargingdecider



16 Fotografie administrativní budovy Fenix Group a.s.



17 Seznamy

17.1 Seznam obrázků

Obrázek 2.1 - Průřez fotovoltaickým článkem [1]	9
Obrázek 2.2 - Princip spojování článků do modulů (panelů) a modulů do polí [1]	10
Obrázek 2.3 - Průřez fotovoltaickým panelem [30].....	11
Obrázek 2.4 - Hybridní měniče (Studer, Victron).....	12
Obrázek 2.5 - Typy uložení elektrické energie [6]	13
Obrázek 2.6 Formy uložení elektrické energie	13
Obrázek 3.1 - Schéma síťového systému (on-grid) [9]	17
Obrázek 3.2 - Schéma ostrovního systému (off-grid) [9].....	18
Obrázek 3.3 - Schéma hybridního systému s ohřevem TUV [9]	19
Obrázek 5.1 - Očekávaná výroba elektrické energie FVE	24
Obrázek 5.2 - Čidla osvětlení instalovaná u FV panelů na budově FÉNIX (číslo 1 ve sklonu s panely, č. 2 je čidlo horizontální) [24].....	26
Obrázek 6.1 - Schéma skriptu pro úpravu a vyhodnocení dat	28
Obrázek 6.2 - Schéma funkce pro úpravu a vyhodnocení dat.....	28
Obrázek 7.1 - Zdroje energie pro budovu během prvních měsíců od spuštění (HFV systém a DS)	29
Obrázek 7.2 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu – červenec 2016 (zelené podbarvení – víkend)	30
Obrázek 7.3 - Detailní zobrazení výroby a akumulace energie v HFV systému pro 14. 7. 2016	30
Obrázek 7.4 - Profil odběru z DS, HFV systému a spotřeba budovy pro 14.7.2017	31
Obrázek 7.5 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu - srpen 2016 (zelené podbarvení – víkend).....	31
Obrázek 7.6 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu - září 2016 (zelené podbarvení – víkend)	32
Obrázek 7.7 - Detailní zobrazení výroby a akumulace energie v HFV systému pro 30. 9. 2016	32
Obrázek 7.8 - Profil odběru z DS, HFV systému a spotřeba budovy pro 30.9.2016	33
Obrázek 7.9 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu - říjen 2016 (zelené podbarvení – víkend).....	34
Obrázek 7.10 - Detailní zobrazení výroby a akumulace energie v HFV systému pro 6. 10. 2016	34

Obrázek 7.11 - Detailní zobrazení výroby a akumulace energie v HFV systému pro 27.10–31.10. 2016	35
Obrázek 7.12 - Denní přehled zdrojů energie pro budovu – listopad 2016 (zelené podbarvení – víkend)	36
Obrázek 7.13 - Průměrná denní spotřeba v jednotlivých měsících	36
Obrázek 7.14 - Vývoj průměrné denní spotřeby podle typu	37
Obrázek 7.15 - Detail spotřeby podle typu pro 14. 7. 2016	39
Obrázek 7.16- Detail spotřeby podle typu pro 6. 10. 2016	40
Obrázek 7.17 -Detail spotřeby podle typu pro 11. 11. 2016	41
Obrázek 7.18 - Detail spotřeby podle typu pro 5. 11. 2016 - víkendový den.....	41
Obrázek 8.1 – Řízení s ohledem na NT/VT.....	43
Obrázek 8.2 -Řízení akumulace pro omezení odběrových špiček	44
Obrázek 8.3 - Inovace řízení pomocí predikce osvitů, VT celé dopoledne, vysoká intenzita záření.....	44
Obrázek 8.4 - Inovace řízení pomocí predikce osvitů, VT celé dopoledne, nízká intenzita záření.....	45
Obrázek 9.1 - Závislost teploty článku na osvitě pro různé typy modulů [29]	47
Obrázek 9.2 - Průběh teploty článku, okolní teploty a dopadajícího záření pro 3.8.2017	48
Obrázek 9.3 - Model FV pole - Simulink.....	49
Obrázek 9.4 - Porovnání naměřených dat SOC s modelem - 19.-25.6.2017	50
Obrázek 9.6 - Porovnání naměřených dat výkonu odebíraného z DS s modelem - 19.-25.6.2017	51
Obrázek 9.5 - Porovnání naměřených dat FV pole s modelem - 19.-25.6.2017.....	51

17.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Srovnání alkalických akumulátorů [7]	14
Tabulka 2 - Srovnání lithiových technologií	15
Tabulka 3 - Typické průměrné hodnoty teplotního koeficientu výkonu [19]	47

17.3 Seznam rovnic

Rovnice 1 – Výpočet teploty fotovoltaického modulu [16]	46
Rovnice 2 - Výpočet výkonu fotovoltaického pole [17]	46

17.4 Seznam symbolů a zkratek

DS	Distribuční síť
G_T	Dopadající záření na FV pole [W/m^2]
$G_{T,STC}$	Dopadající záření na FV pole za STC [$1000 W/m^2$]
α_P	Teplotní koeficient výkonu [$\%/^{\circ}C$]
$HFVE$	Hybridní fotovoltaická elektrárna
$HFVS$	Hybridní fotovoltaický systém
NT	Nízký tarif
P_{inst}	Instalovaný výkon FV pole [kW]
PLC	Programovatelný logický automat (controller)
P_{out}	Okamžitý výkon FV pole [kW]
SOC	State of charge – úroveň nabití
STC	„Standart test conditions“ – Standartní testovací podmínky
S	Sluneční záření dopadající na modul [mW/cm^2]
T_{cell}	Teplota FV článku [$^{\circ}C$]
$T_{cell,STC}$	Teplota FV článku za STC [$25^{\circ}C$]
T_{air}	Teplota okolí [$^{\circ}C$]
VT	Vysoký tarif
VZT	Vzduchotechnika a klimatizace

18 Reference

- [1] „Part I – Photovoltaic Cell Overview,“ [Online]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/7229/en/>. [Přístup získán 3 leden 2018].
- [2] M. Straka, Typový projekt elektroinstalace pro rodinný dům - Bakalářská práce, Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010.
- [3] „Solární panely,“ [Online]. Available: <http://solarni-panely.cz/katalog-produktu/hybridni-menice-napeti>. [Přístup získán 10 5 2016].
- [4] „Wikipedia,“ [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery. [Přístup získán 1 3 2016].
- [5] M. Libra a V. Poulek, Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2. dopl. vyd., Isla, 2010.
- [6] R. C. Başaran, „Energy Storage Systems,“ 26 března 2014. [Online]. Available: <http://youngsday.com/2014/03/26/energy-storage-systems/#>. [Přístup získán 1 říjen 2016].
- [7] [Online]. Available: <http://batteryuniversity.com/>. [Přístup získán 4 3 2016].
- [8] M. Cenek, Akumulátory od principu k praxi, Praha: FCC Public, 2003.
- [9] K. Bc. Lukášek, Stav fotovoltaiky v České Republice - Diplomová práce, Brno, 2015.
- [10] „SOLARENVI a.s.,“ [Online]. Available: <http://www.solarenvi.cz/>. [Přístup získán 5 3 2016].
- [11] „Energetický koncept budoucnosti v praxi,“ [Online]. Available: <http://elektro.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13456-on-line-energeticky-koncept-budoucnosti-v-praxi>. [Přístup získán 5 5 2016].
- [12] P. Šovčík, „NOVÁ ADMINISTRATIVNÍ BUDOVA FENIX GROUP V JESENÍKU / Enegie / TzB / www.abs-portal.cz,“ 2016. [Online]. Available: <http://www.asb-portal.cz/tzb/energie/nova-administrativni-budova-fenix-group-v-jeseniku>.
- [13] M. Urban, M. Bejček, P. Wolf a A. Vodička, „Koncept administrativní budovy jako budovy s téměř nulovou spotřebou energie,“ Kroměříž, 2016.
- [14] P. Wolf, M. Maška, A. Vodička a J. Včelák, „Administrativní budova FENIX GROUP a.s. - Studie provozu systému energetického hospodářství a sběru dat,“ 2016.
- [15] BMZ The innovation group, „Data Sheet ESS 3.0/7.0“.
- [16] R. Ross, Flat-Plate Photovoltaic Array Design Optimization, San Diego: 14th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1980, pp. 1126-1132.

- [17] „Nominal Operating Cell Temperature | PVEducation.org,“ [Online]. Available: <http://www.pveducation.org/pvcdrom/modules/nominal-operating-cell-temperature>. [Přístup získán 3 leden 2018].
- [18] „How HOMER Calculates the PV Array Power Output,“ [Online]. Available: https://www.homerenergy.com/support/docs/3.10/how_homer_calculates_the_pv_array_power_output.html. [Přístup získán 2 leden 2018].
- [19] „PV Temperature Coefficient of Power,“ [Online]. Available: https://www.homerenergy.com/support/docs/3.11/pv_temperature_coefficient_of_power.html. [Přístup získán 4 leden 2018].
- [20] B. J. Kotěšovec, Studie autonomního napájení rodinného domu elektřinou ze střešních - Diplomová práce, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni - Fakulta elektrotechnická, 2012.
- [21] B. J. Šmídek, Prediktivní řízení malých hybridních solárních systémů - Diplomová práce, Praha: České vysoké učení technické v Praze - Fakulta elektrotechnická, 2015.
- [22] V. Benda, K. Staněk a P. Wolf, „Fotovoltaické systémy: Učební texty k semináři,“ [Online]. Available: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_04_1104.pdf. [Přístup získán 12 5 2016].
- [23] „Energetický koncept v praxi,“ [Online]. Available: <http://www.fenixgroup.cz/cs/aktuality/energeticky-koncept-budoucnosti-v-praxi>. [Přístup získán 30 5 2016].
- [24] TZB - info, „Dům budoucnosti - rozhovor o pilotním projektu,“ [Online]. Available: <http://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15197-dum-budoucnosti-rozhovor-o-pilotnim-projektu>. [Přístup získán 2 1 2017].
- [25] J. Struška, „Hybridní fotovoltaické systémy s akumulátorem - Projekt 1,“ České vysoké učení technické v Praze, 2016.
- [26] K. Staněk, Fotovoltaika pro budovy, Praha: Grada, 2012.
- [27] National renewable Energy Laboratory, Homer Energy Modeling Software, Training guide.
- [28] S. Silvestre a L. Castaner, Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice, Wiley, 2002.
- [29] J. Ross a M. Smokler, Flat-Plate Sllar Array Project Final Report, 1986, pp. 31-86.
- [30] „Solární panely - RD Solar,“ [Online]. Available: <http://www.rdsolar.cz/sluzby/solarni-panely/>. [Přístup získán 1 leden 2018].