

Využitie akumulčných zariadení v elektrizačnej sústave

¹Jakub POPOVEC, ²Michal KOLCUN, ³Martin VOJTEK

^{1, 2, 3} Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická
Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

¹jakub.popovec@student.tuke.sk, ²michal.kolcun@tuke.sk, ³martin.vojtek@tuke.sk

Abstrakt — Tento článok sa zaoberá možnosťou využitia akumulčných zariadení v elektrizačnej sústave. Konkrétne ide o využitie akumulčných zariadení na odstránenie nežiadúcich javov vznikajúcich pri integrácii obnoviteľných zdrojov do distribučných sietí. Na overenie funkčnosti akumulčných zariadení bol zhotovený model časti distribučnej siete v programe Matlab/Simulink. Model časti distribučnej siete bol vytvorený na základe skutočných údajov a funkčnosť stratégie nabíjania a vybíjania akumulčných zariadení bola overená simuláciami pre dve rozdielne časové obdobia.

Kľúčové slová — akumulácia, matlab, simulink, spätný tok výkonov, kolísanie napätia

I. ÚVOD

Elektrizačná sústava (ES) je historicky navrhovaná a prevádzkovaná tak, aby umožnila a riešila transport veľkého množstva elektrickej energie od zdroja elektrickej energie, cez prenosové a distribučné systémy, ku koncovým odberateľom. Distribučné sústavy (DS) sú tradične pasívne a navrhované k prenosu toku energie jedným smerom, a to ku spotrebiteľom, na rozdiel od prenosových systémov, ktoré sú navrhnuté pre obojsmerný tok energie [1]. Uvedený systém je spojený s centralizovanou výrobou elektrickej energie v jednotkách veľkých výkonov. Oproti tomu, obnoviteľné zdroje elektrickej energie typicky predstavujú zdroje s radovo menšími výkonmi v rozsahu od stoviek W do približne desiatok MW, v závislosti od typu obnoviteľného zdroja energie (OZE). Ak vylúčime ich aplikáciu, ako zdroje elektrickej energie v nezávislých elektrických sieťach a budeme uvažovať s paralelným chodom s ES, potom vzhľadom k inštalovaným výkonom a ďalším prevádzkovo-technickým záležitostiam sú vyvedené (pripojené) do DS a to buď priamo, alebo cez siete (inštalácie) spotrebiteľov [1] [2].

So zavedením rozptýlenej výroby, ktorá je tiež označovaná ako distribuovaná a vyvedením ich výkonov do DS, sa DS stávajú aktívnymi, nielen spotrebou, ale tiež výrobou elektrickej energie. Základnou myšlienkou OZE je poskytovať elektrinu zákazníkom s ohľadom na životné prostredie a v spojení s distribuovanou výrobou, s nižšou cenou, s využitím lokálnych zdrojov.

Distribuovaná výroba môže mať významný vplyv na:

- tok výkonu,
- profil napätia v sieti,
- stabilitu napätia,
- kvalitu elektrickej energie,
- chránenie elektrických sietí,
- spoľahlivosť a bezpečnosť [1].

II. MODELOVANIE ČASTI DISTRIBUČNEJ SIETE V PROGRAME MATLAB/SIMULINK

Na vytvorenie modelu časti DS, bol použitý program MATLAB, konkrétnejšie jeho nadstavba Simulink. Simulink umožňuje jednoduché a rýchle modelovanie dynamických systémov, pomocou vkladania definovaných blokov do jeho prostredia. Umožňuje vytvárať viacúrovňové štruktúry pomocou subsystémov pozostávajúcich z niekoľkých skupín blokov alebo blokov. Simulink, je vďaka svojmu grafickému rozhraniu jednoduchý na obsluhu a vhodný na vyriešenie danej problematiky.

A. Model fotovoltaického systému

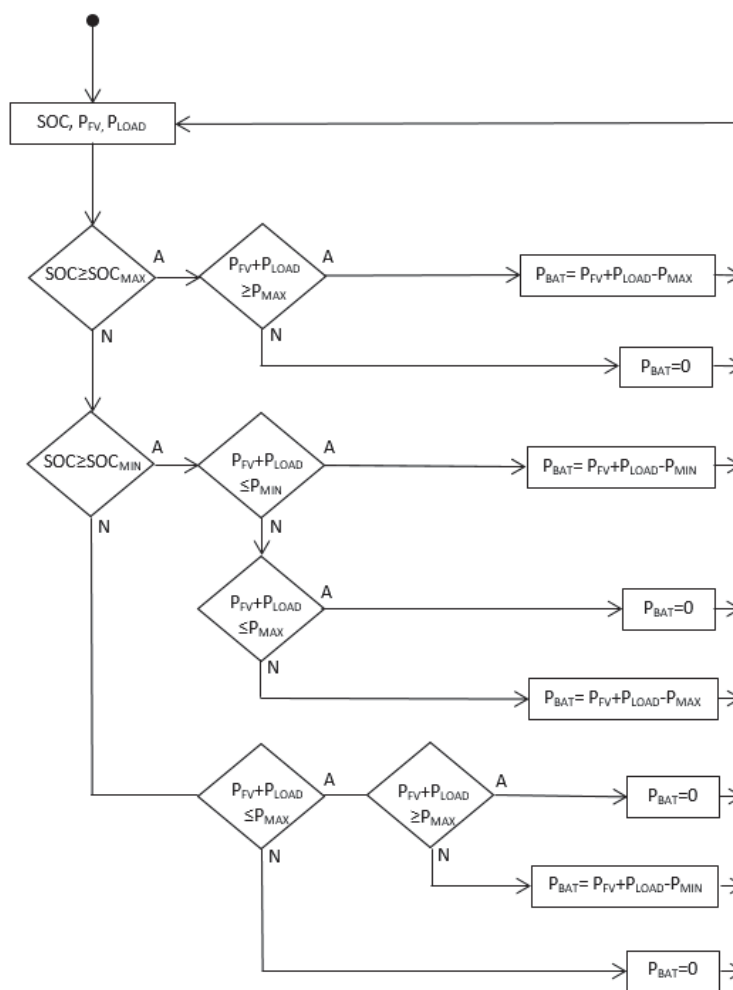
Model fotovoltaického (FV) systému je modelovaný s využitím jedno diódového náhradného obvodu vrátane uvažovania sériového a paralelného odporu [3]. Keďže výrobca neudáva hodnoty pre sériový a paralelný odpor, ich hodnoty boli určené explicitne, na základe Lambertovej W-funkcie a estimácie faktora diódovej ideálnosti (A). Všetky ostatné potrebné hodnoty boli nájdené v dátovom liste, ktorý je poskytovaný výrobcom FV modulu.

B. Model rodinného domu

Model rodinného domu je namodelovaný na základe údajov, ktoré poskytuje prevádzkovateľ distribučnej sústavy. Namodelovaná časť distribučnej sústavy pozostáva zo 100 namodelovaných rodinných domov. Na vstup každého modelu rodinného domu je privedený signál jedného z troch typových diagramov odberu (TDO). Hodnoty TDO sú oficiálne na stránkach VSD, a.s. uvedené pre každú hodinu a deň v roku 2017 [4]. Okrem typu TDO, má každý model rodinného domu priradenú hodnotu maximálneho zaťaženia. Výsledná hodnota spotrebovaného výkonu jednotlivých rodinných domov, je vypočítaná vynásobením hodnoty maximálneho zaťaženia s hodnotou TDO.

C. Model riadenia nabíjania a vybíjania akumuláčného zariadenia

Algoritmus, ktorý riadi skladovanie energie do akumuláčnych zariadení je navrhnutý na základe jednoduchých logických funkcií. Vstupné premenné algoritmu riadiaceho systému, môžeme rozdeliť do dvoch skupín. Do prvej skupiny patria premenné, ktoré v priebehu simulácie menia svoju hodnotu a je potrebné ich merať. Druhú skupinu vstupných premenných algoritmu, tvoria konštantné premenné, ktoré nemenia svoju hodnotu, počas celej simulačnej doby.



Obr. 1 Vývojový diagram riadenia akumuláčnych zariadení

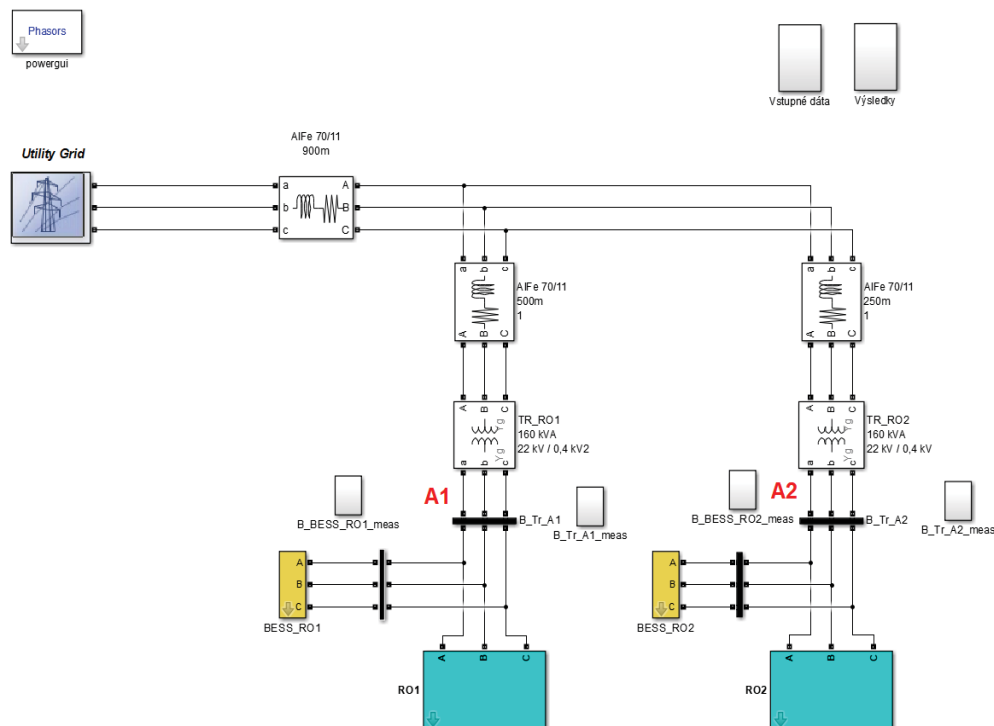
Algoritmus pre riadenie nabíjania a vybíjania akumuláčnych zariadení je znázornený na Obr.1. Hodnota stavu nabitia akumulátorov (SOC) a porovnanie vyrábaného činného výkonu FV systémom (P_{FV}) a spotrebovaného výkonu domácnosťami (P_{LOAD}) sú základnými rozhodovacími premennými. Tieto hodnoty sú merané a načítavané na vstupe algoritmu riadenia akumuláčnych zariadení. Výstupom algoritmu je výsledný výkon akumuláčného zariadenia (P_{BAT}).

D. Model distribučného transformátora

Model distribučného transformátora predstavuje blok trojfázového dvojvinuťového transformátora vybraného z knižnice Simpowersystem. Model vybranej elektrickej siete obsahuje dva distribučné transformátory so zdanlivým výkonom 160 kVA so zapojením Yy.

E. Model elektrického vedenia

Model elektrického vedenia je zhotovený pomocou bloku trojfázového sériového RL článku, ktorý je vybraný z knižnice Simpowersystem. Elektrické vedenie 22 kV je zhotovené pomocou vzdušného vedenia 70/11 Alfe, vedenie 0,4 kV je vyhotovené ako káblové a aj ako vzdušné vedenie.



Obr. 2 Model časti DS v programe Simulink

III. SIMULÁCIA A VÝSLEDKY

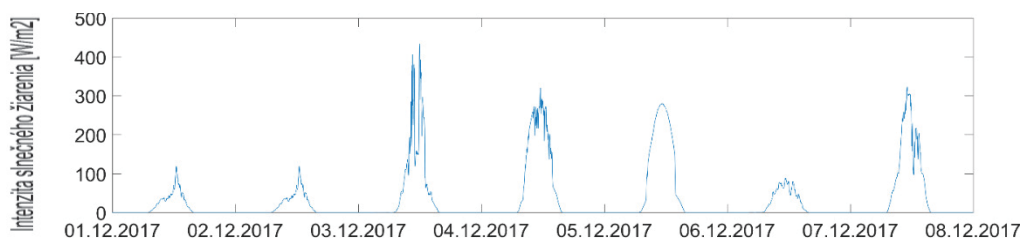
Na základe vytvoreného modelu časti DS, môžeme sledovať správanie jednotlivých častí systému, predovšetkým správanie tokov výkonov v elektrickej sieti a zmeny hodnôt napájacieho napätia, vplyvom vysokej penetrácie z FV systémov. Simulácie boli vykonané za účelom poukázania vznikajúcich problémov v DS vplyvom integrácie OZE a overenia funkčnosti navrhnutého modelu riadenia akumulačných zariadení. Simulácie boli vyhotovené pre prvý augustový týždeň (najvyššia intenzita slnečného žiarenia) a prvý decembrový týždeň (najnižšia intenzita slnečného žiarenia). Konštantné parametre, ktoré je potrebné nastaviť pre riadenie akumulačného zariadenia sú pre obidva simulačné obdobia konštantné. Pre obidva simulačné obdobia bolo nastavené množstvo FV modulov tak, aby v priebehu celého roka dokázali pokryť 100% spotreby namodelovanej časti DS. Výsledky simulácií reprezentujú správanie navrhutej časti DS, konkrétne v rezidenčnej oblasti 1 (RO1).

Tabuľka 1
 Parametre pre riadenie akumulačného zariadenia a FV systému

Rezidenčná oblasť 1							
Počet FV	SOC _{MAX}	SOC _{MIN}	SOC _{INITIAL}	P _{MIN}	P _{MAX}	C _{BAT}	Počet FV na r.d.
100%	100%	20%	40%	0	1 kW	2600 kWh	15,29

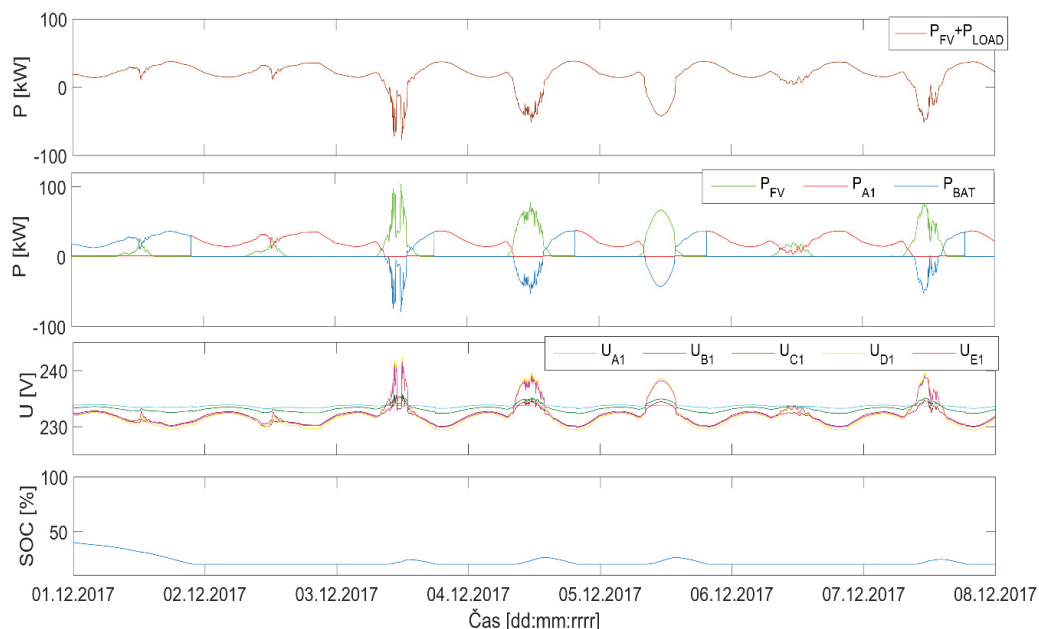
A. Simulácia decembrového týždňa

Vstupné údaje intenzity slnečného žiarenia pre decembrový týždeň sú dôležité z hľadiska produkcie elektrickej energie FV systémom, keďže výroba FV systému je veľmi závislá od intenzity slnečného žiarenia.



Obr. 3 Intenzita slnečného žiarenia pre decembrový týždeň

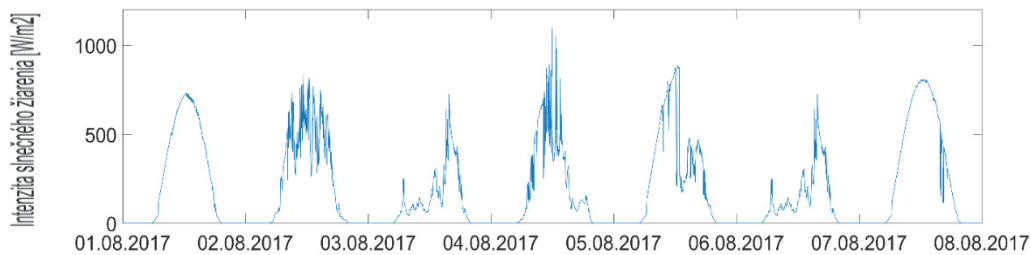
V prvom a druhom dni decembrového týždňa v RO1, priebeh $P_{FV} + P_{LOAD}$ neprekračuje záporné hodnoty. Akumulačné zariadenie v tomto prípade nebude akumulovať elektrickú energiu. Priebeh $P_{FV} + P_{LOAD}$ prekračuje hodnotu $P_{MAX} = 1$ kW. Preto akumulčný systém dodáva P_{BAT} do RO1 dovtedy, kým hodnota SOC nedosiahne hodnotu $SOC_{MIN} = 20$ %. V tomto momente začína RO1 odoberať P_{AI} z DS. Výkon z DS je odoberaný do obedňajších hodín 3.12.2017. Vtedy začína narastať výroba P_{FV} , ktorá pokrýva P_{LOAD} a zároveň mierne dobíja akumulčný systém. V ostatné dni v decembrovom týždni sa tento spomínaný princíp opakuje. Na základe priebehu P_{AI} , môžeme povedať, že RO1 v decembrovom týždni nie je nezávislá od dodávaného výkonu z DS. Z priebehu SOC môžeme usúdiť, že navrhnutý akumulčný systém nebude v zimných obdobiach dostatočne využitý, keďže v decembrovom týždni sa využíva, len malé množstvo z jeho celkovej kapacity.



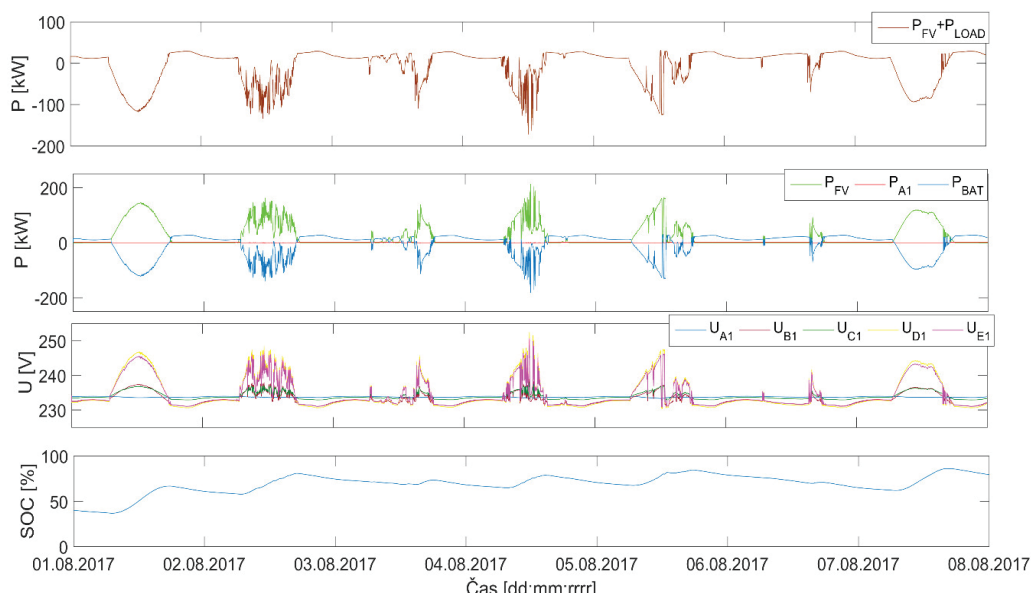
Obr. 4 Výkonová a napätová bilancia v RO1 pre decembrový týždeň s akumulčným zariadením

B. Simulácia augustového týždňa

V grafe intenzity slnečného žiarenia pre augustový týždeň môžeme vidieť, že v prvý a posledný deň v týždni, narastá intenzita slnečného žiarenia postupne, až do dosiahnutia maximálnej hodnoty, ktorá nastane približne v obedňajších hodinách a následne klesá až na nulu. To symbolizuje slnečný deň bez oblačnosti. V ostatných dňoch intenzita slnečného žiarenia značne osciluje, to symbolizuje polooblačný alebo oblačný deň.



Obr. 5 Intenzita slnečného žiarenia pre augustový týždeň



Obr. 6 Výkonová a napäťová bilancia v RO1 pre decembrový týždeň s akumulčným zariadením

Prvý priebeh, znázornený hnedou farbou, predstavuje priebeh súčtu vyrábaného P_{FV} a spotrebovaného P_{LOAD} . Tento priebeh patrí medzi základné parametre riadiaceho systému. V tomto prípade je riadiaci systém nastavený tak, že v prípade prekročenia hodnoty $P_{MAX}=1$ kW, dochádza k vybíjaniu akumulčného zariadenia. V momente, ak priebeh súčtu P_{FV} a P_{LOAD} prekročí hodnotu $P_{MIN}=0$ kW, riadiaci systém vyhodnotí tento stav a akumulčné zariadenie začne akumulovať elektrickú energiu.

Vplyv akumulácie elektrickej pomocou riadiaceho systému, môžeme vidieť na priebehoch veličín P_{FV} , P_{A1} , P_{BAT} a SOC. Napríklad na Obr. 6 môžeme vidieť, že prebytočný výkon P_{FV} je dodávaný do akumulčného zariadenia. Následne v čase, keď FV systém prestáva vyrábať elektrickú energiu, akumulčný systém začína dodávať do RO1 P_{BAT} . Pri porovnaní celého priebehu P_{BAT} s priebehom $P_{FV}+P_{LOAD}$ môžeme konštatovať, že sú takmer identické. Priebeh P_{A1} reprezentuje veľkosť odoberaného činného výkonu z DS. Priebeh P_{A1} osciluje medzi hodnotami 0 kW a 1 kW, čiže medzi hodnotami, ktoré sú nastavené v riadiacom systéme akumulčného zariadenia ako P_{MAX} a P_{MIN} . Na základe priebehu P_{A1} , môžeme povedať, že RO1 je v augustovom týždni takmer nezávislá od výkonu dodávaného DS. Kapacita akumulčného zariadenia pre RO1 je nastavená tak, aby priebeh SOC nedosiahol hodnotu 100%.

IV. ZÁVER

Tento článok sa na svojom začiatku venuje vytvorenému modelu časti DS v programe Matlab/Simulink. Tento model je vytvorený z viacerých podsystémov, ktoré je možné meniť a modifikovať. Okrem toho sa tento článok venuje návrhu riešenia pre odstránenie vzniknutých nežiadúcich javov vplyvom vysokej penetrácie FV systémov.

Na základe simulácií bolo zistené, že navrhnuté riešenie dokázalo odstrániť vzniknuté prietoky výkonu do nadradenej sústavy. Taktiež bolo zistené, že pri 100% pokrytí celoročnej spotreby navrhutej dediny výrobou z FV systémov, je dedina vďaka akumulčným systémom takmer nezávislá od dodávky elektrickej energie z DS. Problém nastáva v zimnom období, kedy akumulčný systém nie je dostatočne využitý.

V. POĎAKOVANIE

Tento článok podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

VI. LITERATÚRA

- [1] BAGGINI, A. Handbook of Power Quality. Bergamo: John Wiley & Sons Ltd. 2008. 644s. ISBN 978-0-470-06561-7
- [2] COCHRAN, J. Grid-integrated distributed solar. [online]. [citované 2018-4-11]. Dostupné na internete: <<https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/63042.pdf>>.
- [3] KOLCUN, M a kol. The implementation of an ideal photovoltaic module in Matlab/Simulink using sympowersystems toolbox. [online]. [citované 2018-4-11]. Dostupné na internete: <<http://people.tuke.sk/dusan.medved/VEGA/VEGA-1-0388-13/clanky/Vojtek1.pdf>>.
- [4] VSD, a.s.. Typový diagram odberu. [online]. [citované 2018-4-11]. Dostupné na internete: <<https://www.vsd.sk/edso/domov/technicke-info/tdo>>.