ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kletečka** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **393402**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**

Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**

Studijní obor: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Možnosti využití akumulace elektrické energie v průmyslovém podniku

Název diplomové práce anglicky:

Possibilities of accumulation of electrical energy in industrial plants

Pokyny pro vypracování:

1. Vypracujte přehled možných způsobů akumulace elektrické energie v průmyslovém podniku
2. Porovnejte možné způsoby z hlediska doby života, kapacity, účinnosti a dynamiky nabíjení a vybíjení
3. Ve vhodném programovém prostředí vypracujte kód pro vyhodnocení technických a ekonomických parametrů zvoleného typu akumulace pro konkrétní odběrový diagram podniku
4. S využitím napsaného kódu proveďte ekonomické zhodnocení nadějných variant.

Seznam doporučené literatury:

[1] RAHN, Christopher D. a Chao-Yang WANG. Battery systems engineering. Chichester: Wiley, 2013. ISBN 978-1-119-97950-0.
[2] CENEK, Miroslav. Akumulátory a baterie. Praha: STRO.M, 1996.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Jan Kyncl, katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **19.09.2016** Termín odevzdání diplomové práce: **09.01.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce	Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra Elektroenergetiky

Možnosti využití akumulace elektrické energie v průmyslovém podniku

Possibilities of accumulation of electrical energy in industrial plants

Diplomová práce

Studijní program: Elektroenergetika

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

Jan Kletečka

Praha 2016

Prohlášení

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

V Praze, dne 4. 1. 2017 ……

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi za pomoc a konzultace během tvoření této práce. Také mojí rodině za finanční a psychickou podporu během studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi ukládání elektrické energie pro průmyslový podnik nebo situacemi, kdy je potřeba akumulace většího množství elektřiny. Práce se soustředí v první části na popis možností ukládání elektřiny podle fyzikálního principu, ve druhé kapitole se zaměřujI na porovnání jednotlivých akumulačních možností z hlediska charakteristiky nabíjení, energetické hustoty bateriových článků a jiných parametrů. Třetí část popisuje program v prostředí Mathematica pro výpočet ideálního nabíjecího a vybíjecího algoritmu při odebírání elektřiny ve vyšším a nižším cenovém tarifu. Závěrečná čtvrtá kapitola vyhodnocuje možné varianty podle ekonomické stránky projektu.

Klíčová slova

Akumulace, Ukládání energie, Mathematica, Bateriové články

Abstract

This thesis deals with possibilities of electricity storage for industrial plants, when we need to accumulate great amount of electricity. The first part describes how the electricity can be kept from the point of view of physical principle. The comparison of partial accumulative possibilities in terms of characteristic of charging, economic side and the other parameters is focused in the second part. The third chapter reports the program Mathematica. It allows us to enumerate ideal charging and discharging algorithm during taking of the electricity in the higher and lower price tariff. The last part evaluates possible variants according to the economic indicators.

Keywords

Accumulation, Energy storage, Mathematica, Battery cell

Obsah

Prohlášení ... 2
Poděkování ... 3
Abstrakt ... 4
Úvod ... 7
1. Možnosti ukládání elektrické energie ... 8
1.1. Mechanická akumulace energie ... 8
1.1.1. Vodní přečerpávací elektrárny ... 8
1.1.2. Setrvačníky ... 8
1.1.3. Úložiště stlačeného vzduchu ... 9
1.2. Chemické ukládání elektřiny ... 9
1.3. Akumulace do elektromagnetického pole ... 10
1.3.1. Superkapacitory ... 10
1.3.2. Supercívky ... 10
1.4. Elektrochemické ukládání elektřiny ... 10
1.4.1. Olověné akumulátory ... 10
1.4.2. Ni-Cd akumulátory ... 11
1.4.3. Li-ion akumulátory ... 11
1.4.4. NaS akumulátory ... 11
1.4.5. NaNiCl akumulátory ... 12
1.4.6. Vanadové redoxní baterie ... 12
1.4.7. ZnBr baterie ... 12
1.4.8. Zinko vzdušné baterie ... 12
1.5. Akumulace elektřiny ve formě tepla ... 13
1.5.1. Nízkoteplotní uložiště ... 13
1.5.2. Úložiště latentního tepla ... 13
1.6. Shrnutí pro možnosti akumulace ... 13
2. Porovnání jednotlivých baterií ... 15
2.1. Možnosti akumulace pro podnik z ekonomického hlediska ... 15
2.2. Kritéria porovnávání jednotlivých vzorků ... 15
2.3. Ukazatele výhodnosti baterie ... 16
2.4. Porovnání jednotlivých typů ... 17
2.5. Závěrečné vyhodnocení ... 18
2.6. Možná baterie pro program ... 18

3. Možnosti snížení spotřeby elektřiny pro podnik využitím akumulačních prostředků 20
3.1. Použité údaje 20
3.2. Popis programu 21
3.2.1. Vstupy do programu 22
3.2.2. Algoritmus pro NT 23
3.2.3. Algoritmus pro VT 24
3.2.4. Kalkulace ceny projektu 25
3.2.4.1. Cena elektřiny za 1 kWh 26
3.2.5. Výpočet ceny za jistič 28
3.2.6. Cena pořízené baterie 29
3.2.7. Výpočet NPV 29
3.2.8. Optimalizace funkce 30
4. Ekonomické vyhodnocení variant 32
4.1. Použité metody 32
4.1.1. Doba návratnosti 32
4.1.2. Čistá současná hodnota 32
4.1.3. Vnitřní výnosové procento 33
4.1.4. Citlivostní analýza 33
4.2. Získané výstupy jednotlivých variant 33
4.2.1. Varianta bez baterie 33
4.2.2. Varianta pro Powerwall 2 34
4.2.3. Varianta pro budoucí baterii 36
4.2.4. Závěrečné vyhodnocení 38
5. Závěr 39
6. Použitá literatura 40
7. Seznam tabulek 41
8. Seznam obrázků 41
9. Přílohy 42
9.1. Doba spínání NT 42
9.2. Ceník pro dodávku elektřiny 42
9.3. Program pro optimalizaci baterie 42

Úvod

Podniky v dnešní době čelí problémům, jak efektivně rozložit spotřebu v zájmu snížení platby za maximální příkon a jak snížit spotřebu ve vyšším tarifu ceny za elektřinu. Tato práce se zabývá možnostmi ukládání elektřiny do bateriového systému. V první části jsou popsány jednotlivé způsoby akumulace energie podle fyzikálního hlediska. V druhé jsou porovnány jednotlivé typy akumulačních systémů a jejich vlastností. Třetí částí je popis programu zpracovaném v prostředí Mathematica na výpočet jednotlivých variant bateriového systému a hledání minima ekonomické náročnosti.

Závěrečná část je porovnání jednotlivých metod z ekonomického hlediska a použitelnost dané varianty pro podnik.

1. Možnosti ukládání elektrické energie

V současné době dochází k rozšíření možností ukládání elektrické energie. V souvislosti s neustále vznikajícím a vyvíjejícími druhy ukládání energie můžeme klasifikovat zásobníky elektřiny na 5 základních skupin a jedná se o akumulaci využitím:

- Mechanické energie
- Chemických procesů
- Elektromagnetických dějů
- Elektrochemických procesů
- Udržování ve formě tepla

Nepředpokládá se jiná forma ukládání energie. V této části práce se zabývám bližším popisem těchto skupin a charakteristikami jejich využití. Ne každá technologie je pro podnik výhodná nebo možná.

1.1. Mechanická akumulace energie

Elektrickou energii je možné nejdříve přeměnit na jiný druh energie (potencionální, setrvačná) a později ji získávat zpět. Tyto způsoby mají výhodu kvůli nízké ztrátě pro dlouhodobější skladování. Jejich konstrukce mají ale většinou větší prostorové a finanční nároky.

1.1.1. Vodní přečerpávací elektrárny

U vodních přečerpávacích elektráren je jako akumulační médium použita voda. Elektřina při nižším tarifu se využívá na ukládání energie ve formě potencionální energie. Při vyšším tarifu ceny elektřiny nebo při nutnosti potřeby se opět přeměňuje na elektřinu. V současné době je budování nových vodních přečerpávacích elektráren značně omezeno geografickými, ekologickými a etickými podmínkami. V České republice se vyskytují 3 přečerpávající elektrárny s instalovanou kapacitou 1 171,5 MW. (1)

1.1.2. Setrvačníky

Princip setrvačníků spočívá v přeměně elektrické energie na setrvačnou energii do rotoru zařízení a její pozdější přeměnu zpět na elektrickou. Nevýhodou je potřeba umístění do magnetického závěsu, vytvoření vakua pro snížení ztrát třením a omezená kapacita úschovy energie. Dále množství senzorů na získávání údajů o teplotě, vibracích a v některých případech i materiál na snížení hlučnosti systému. Také je třeba počítat s nároky na materiál a jeho mechanickou pevnost. Pro takové aplikace se používá ocel, titan ale své využití nacházejí i uhlíková vlákna. Mají vysokou energetickou hustotu a nevyžadují tedy větší prostory pro jejich uložení. Dále disponují jedním z nejrychlejších zapínacích

časů (v řádu vteřin) a vysokou životností při porovnání s jinými akumulačními možnostmi. Účinnost se pohybuje od 70-80 %, v závislosti na vynaložené práci na úsporu mechanických ztrát. (2)

1.1.3. Úložiště stlačeného vzduchu

Další typ akumulace je ve formě stlačeného vzduchu. Ten se zchladí a stlačí do podzemního systému nebo nadzemního zásobníku. Ve světě je známá spíše pod termínem CAES (Compressed Air Energy Storage). V případě potřeby energie se vzduch zahřeje, dojde k jeho expanzi a může se využít k vyrobení elektřiny. V současné době dochází k rozvoji 2. generace úložných systémů na principu stlačeného vzduchu. Ty mohou využívat plynovou turbínu ke stlačování vzduchu, která zároveň produkuje teplo při expanzi vzduchu. Rezervoáry pro vzduch existují buď nad nebo pod zemí.

Nadzemní úložny jsou většinou menšího typu s ukládáním výkonu 3 – 50 MW s možností vybití 2 – 6 hodin. U nadzemních zásobníků odpadá problém s požadavky na podzemní přírodní systém a případnou nedostupnost pro vybraný podnik. Jejich konstrukce je ale finančně náročnější a někdy nemožná z prostorových důvodů. Přesto dochází k prvním realizacím.

Podzemní zásobníky stlačeného vzduchu mají úložnou kapacitu až 400 MW a vybíjecí časy 8 – 26 hodin. Potenciální účinnost CAES je 70-80 %. Abychom dosáhli této úrovně je potřeba akumulovat i odebrané teplo při stlačování. (2)

1.2. Chemické ukládání elektřiny

Elektřina se může také využívat pro výrobu látek, které později mohou posloužit jako palivo při zpětné výrobě elektřiny. Za nejvyužívanější se dá považovat výroba vodíku elektrolýzou vody. Poté je možné vodík dále uchovávat v jeho kapalné podobě. V tomto případě jsou problémy s jeho dlouhodobějším ukládáním, nebo ho lze ukládat ve formě metanu. V takovém případě je jeho uložení možné na několik dnů až týdnů. V budoucnosti by takovýto postup umožňoval využití obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny bez emise CO_2 a jiných znečišťujících látek.

Při zapojení zachyceného CO_2 je možné vyrábět syntetický metan. Další způsob využití vodíku je ve smíchání s NO_2, nebo již zmíněného CO_2 a výrobou látek jako amoniak, metanol, etanol, kyselina mravenčí nebo močovina. Výsledný produkt může být použit buď na spalování v plynové turbíně, na využití v chemickém průmyslu, pro spalovací článek nebo na přímou spotřebu ve vodíkových automobilech.

Účinnost této akumulace dosahuje 40 %. Hlavním důvodem je vysoká ztráta energie při elektrolýze. Pro komerční využití již existuje v Evropě několik systémů využívajících principu úschovy vodíku. Vyskytují se s kapacitou 10-100 MW.

Pro velkokapacitní ukládání vodíku by mohlo být použito solných jeskyní, které zajišťují přirozené těžko propustné prostředí. Jako alternativu k přepravě v nádobách na místo potřeby by bylo možné použít plynovod. (3)

1.3. Akumulace do elektromagnetického pole

Akumulace do elektromagnetického pole na první pohled působí bezeztrátovým dojmem, protože by nemělo docházet ke ztrátám přeměnou z jednoho druhu energie na druhou. Problém ale většinou nastává v náročnosti vytvoření potřebných podmínek a nemožnosti naprosto izolovat soustavu od okolí. V současné době jsou zástupci tohoto druhu superkapacitory a supercívky.

1.3.1. Superkapacitory

Při využití superkapacitorů je elektřina uložena do elektrického pole nabitého akumulátoru. Oproti běžným kapacitorům je použita technologie, která zvyšuje povrch elektrod nanesením práškového uhlíku na hliníkovou fólii. Tím dochází ke zvýšení energetické hustoty. Superkapacitory mají nízký vnitřní odpor a vysokou účinnost akumulace, která dosahuje až 95%. Jsou odolné vůči nepříznivým vnějším podmínkám, nenáročné na teplotu a snadno recyklovatelné. V současné době je ale jejich cena značně vyšší než jiné možnosti ukládání energie. (5)

1.3.2. Supercívky

Supercívka, také označována SMES (Super Magnetic Energy Storage) se skládá z cívky ze supravodivého materiálu, systému chlazení a vakua. Hlavní problém akumulace elektřiny do pole cívky spočívá v nárocích na co nejnižší odpor vinutí. Toho lze dosáhnout snížením teploty na supravodivou úroveň pro použitý materiál, kdy dochází k téměř nulovému odporu. To klade vysoké požadavky na izolaci cívky a její chlazení. Mezi výhody patří téměř okamžitá možnost odebírání elektřiny v případě potřeby. (5)

1.4. Elektrochemické ukládání elektřiny

Využití elektrochemických procesů je jeden z prvních způsobů využití akumulace elektrické energie. Luigi Galvani toto popsal a použil před více jak 200 lety. To je jeden z důvodů, proč tato forma akumulace má větší množství použitých principů než předchozí skupiny. Proto jsou uvedeny jen ty známější nebo perspektivní formy ukládání.

1.4.1. Olověné akumulátory

Patří k nejstarším možnostem akumulace elektřiny. Proto jsou velmi prozkoumané jejich vlastnosti, nabíjecí a vybíjecí charakteristiky a jejich výroba. Běžně se používají v elektrických stanicích jako rezervy. Skládají se z olověných desek, na kterých je nanesena pasta obsahující buď PbO, nebo Pb. Prostor mezi nimi je vyplněn separátorem a H_2SO_4, který plní funkci elektrolytu.

Mezi hlavní omezení patří nižší výkon a kapacita, citlivost na vnější teplotu, delší nabíjecí cykly a potřeba údržby během chodu. Jejich energetická hustota je okolo 50 Wh/kg, což je nižší oproti Li-ionovým akumulátorům. I přes jejich dlouhou historii používání stále dochází k jejich rozvoji. (4) (2)

V současnosti dochází také k vývoji tzv. pokročilých olověných baterií.

1.4.2. Ni-Cd akumulátory

Jeden z nejstarších způsobů ukládání energie byl vynalezen 1899. Jeho hlavní využití je v trakčních systémech, kdy je akumulátor chlazen vzduchem, nebo vodou a dochází k jeho kontrole každých 50 až 100 cyklů. Hlavní výhoda těchto akumulátorů spočívá ve vysokém rozsahu provozních teplot a jako jediná baterie nemá omezení v minimálním napětí, na které může být baterie vybíjena. Nevýhoda je ve škodlivosti kadmia pro životní prostředí a zdraví. Tyto akumulátory byly později nahrazeny NI-MH bateriemi pro jejich lepší vlastnosti během vybíjení. Energetická hustota se nachází mezi 55 až 135 Wh/kg. (15)

1.4.3. Li-ion akumulátory

Jedná se o jeden z nejperspektivnějších typů akumulátorů. Existuje mnoho druhů Li-ion akumulátorů, mezi nejvýznamnější patří $\mathrm{LiCoO_2}$, $\mathrm{LiMn_2O_4}$ a nejpoužívanější pro svůj vysoký počet dobíjecích cyklů $\mathrm{LiFePO_4}$. Mají vysoký počet nabíjecích cyklů (více jak 500) a nedochází u nich k velkému samovybíjení (méně jak 10 % za měsíc).

Díky tomu mají uplatnění na místech, kde dochází k problémům s prostorem, jako je tomu například u elektromobilů. Staniční baterie se ale na světě vyskytují i s kapacitou 100 MWh. V současnosti Li-ionových akumulátorů značně omezuje jejich cena. Ta by ale v budoucnosti měla poklesnout a navíc dojde k vylepšením jejich dalších vlastností. (5) (2)

1.4.4. NaS akumulátory

Sodíkovo-sírové akumulátory používají sodík pro kladnou elektrodu a síru pro zápornou elektrodu při teplotě 300-350°C. Nevýhodou je právě použitý sodík, který agresivně reaguje při styku s vodou. To je řešeno silným dvojitým pláštěm z nerezové oceli, která obsahuje serio-paralelní kombinaci NaS článku obklopeným pískem pro potlačení případné agresivní chemické reakce. Předpokládaná životnost akumulátorů se dosahuje až 15 let nebo 4 500 nabíjecích a vybíjecích cyklů. Jejich účinnost dosahuje necelých 74%.

Pokud není baterie udržovaná při provozní teplotě okolo 300 °C dochází nejen ke snížení efektivity procesu, ale může dojít i k nebezpečným mechanickým procesům, poškozením kontejneru a elektrolytu. Jeden z největších systémů vyvíjených v současnosti se nachází v Japonsku pro větrnou elektrárnu Rokkasho a dosahuje kapacity 238 MWh. (2)

1.4.5. NaNiCl akumulátory

Většinou jsou uváděné jako alternativa k NaS článku a jsou známé spíše pod zkratkou ZEBRA. Byly vyvinuty v roce 1978 a jejich hlavní výhodou je větší rozsah teploty, při které mohou pracovat. Nejsou náročné na údržbu a díky katodě z pevného, či polotekutého NaNiCl jsou bezpečnější než NaS akumulátory. Při normální teplotě dochází k ohřátí soli a niklu na teplotu mezi 270-350°C, což má za následek přeměnu na nikl-chlorid a roztavený sodík. Mezi elektrodami je keramická zeď kvůli bezpečnosti a každý článek je také zvlášť hermeticky uzavřen. V současnosti dochází k rozvoji provozu schopných úložišť a to o výkonu od 50 kW do 1 MW.

1.4.6. Vanadové redoxní baterie

V posledních několika letech jsou vanadové redoxní baterie (VRB) rozvíjeny jako jeden z potencionálních způsobů ukládání elektrické energie. Jejich hlavní výhodou je množství nabíjecích cyklů, které jsou schopny zvládnout. Zatímco u jiné baterie dosahují hodnot až 5 000, průtokové baterie mohou mít nabíjecích cyklů 10 000 – 15 000. Jejich kapacita je v řádu MWh.

Tento druh baterií používá elektrody v kapalném stavu a redoxních reakcí pro rozdílně nabité vanadové ionty. To umožňuje snadnější dopravu baterie na místo potřeby. Lze převézt předpřipravený elektrolyt a na místě ho měnit na kladný a pozitivní. Spouštění i zastavování během provozu je rychlé a bezpečné.

1.4.7. ZnBr baterie

ZnBr baterie je další z rodiny průtokových baterií, kde funkci catholitu a anolitu tvoří ZnBr2 s rozdílnou koncentrací bromu. Při nabíjení dochází k pokovování negativní elektrody zinkem, při vybíjení se opět zkapalňuje. Brom je vázán na kladnou elektrodu a prochází přes polopropustnou membránu mezi elektrodami. Díky cirkulaci elektrolytu je brom snadněji odstraňován z nanesené vrstvy při vybíjení.

Nevýhoda akumulátoru spočívá v korozivitě bromového elektrolytu. Proto je potřeba používat speciálních nádob. Přesto ale nepředstavuje jejich výroba zvláštní nebezpečí pro přírodu. Předpokládaná doba života může být až 20 let. Ukládaná energie od 2 do 6 hodin. Jejich účinnost se pohybuje okolo 65%. Dochází již ke spouštění menších úložišť, zatím největší dosahuje výkonu 1 MW v USA.

1.4.8. Zinko vzdušné baterie

Tyto akumulátory mají vysokou energetickou hustotu. Jako pozitivní elektroda je použit zinek, hliník, hořčík a zápornou elektrodu tvoří kyslík ze vzduchu obklopující baterii. Přesto se jedná o jednu z technologií, která téměř neškodí prostředí. Nevýhodou je citlivost na změny v okolním prostředí

zvláště na vlhkost a prachové částice ve vzduchu. Jejich účinnost se pohybuje pod 50 %, ale jejich energetická hustota má až třikrát vyšší hustotu než Li-Ionové baterie a nižší výrobní náklady. Jedná se však o technologii, která je stále ve vývoji a ještě nebyla zapojena do provozu. Nicméně představuje možnou změnu ve vývoji akumulátorů. (2)

1.5. Akumulace elektřiny ve formě tepla

Elektřinu lze uložit také ve formě tepla a později ji využít pro vytápění, nebo zpátky na výrobu elektřiny při vyšších teplotách. Tyto systémy se skládají z akumulačního média, rezervoáru, chladících nebo zahřívajících jednotek a řízení. Hlavní rozdělení je na nízkoteplotní a vysokoteplotní úložiště. Jejich výhodou je nízká ztráta energie za den (cca 0,05-1%). Ovšem účinnost je v rozmezí 30 – 60%.

1.5.1. Nízkoteplotní uložiště

Tento druh akumulace využívá médium o nízké teplotě. To může být chlazená voda, nebo speciální kryogen (zkapalněný dusík nebo vzduch), který je následně oteplován. Další možností je ukládání do pevného média (beton, keramika).

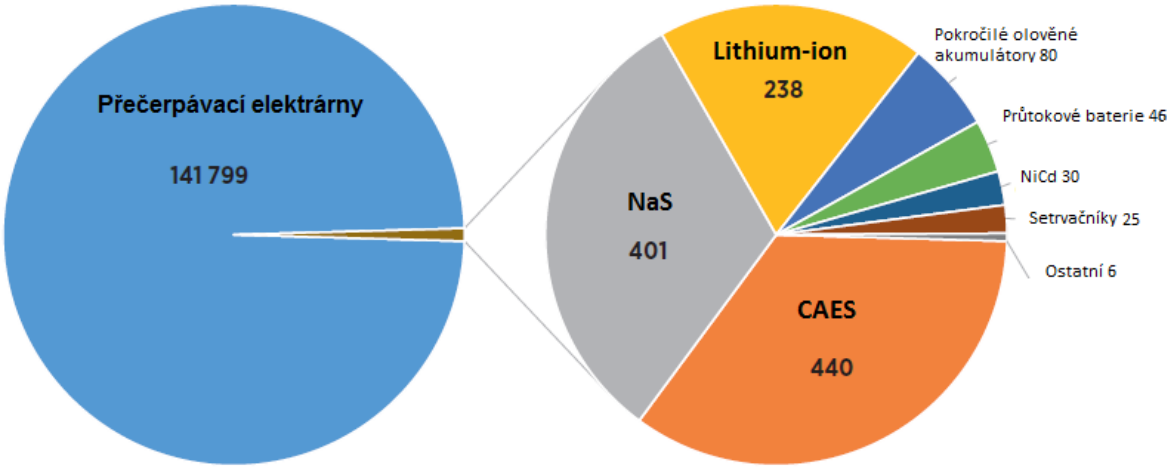
1.5.2. Úložiště latentního tepla

Phase Shifting Materials (PCM) tvoří hlavní médium použité pro ukládání tepla. Používají absorpci a emisi energie při změně skupenství za stálé teploty. To poskytuje relativně vysokou kapacitu při malém rezervoáru. Další možností je využití betonového nebo keramického média. (16)

1.6. Shrnutí pro možnosti akumulace

Existuje značné množství akumulačních principů. Rozdělení globálního využití akumulačních zařízení je na Obrázek 1. V praxi pro ukládání energie dominují přečerpávací elektrárny. Pro ty ale většina podniků nemá potřebné finanční nebo geografické podmínky. Akumulace využívající principu setrvačníku mají uplatnění zejména při potřebě rychlé dodávky elektřiny. To splňuje požadavky např. větrných elektráren. Systémy CAES mají většinou větší rozměrové nároky a jejich použití ve větší

míře není dosud příliš testováno.



Obrázek 1 Světové rozdělení uložišť energie v MW, převzato z (6)

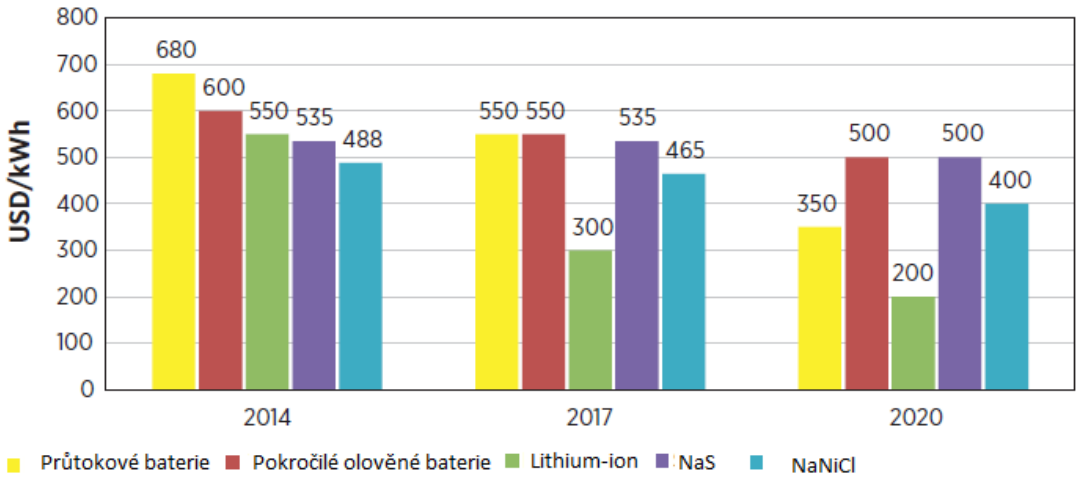
Nejstarší a nejrozšířenější olověné akumulátory jsou možnými kandidáty na použití jako akumulační jednotka pro použití v podniku, čímž se zabývá 3. kapitola této práce. NiCd akumulátory mají využití hlavně v armádních složkách. Jsou schopny provozu i v nepříznivých teplotních podmínkách, odolné vůči přebíjení, podbíjení i úplnému vybití. Jejich elektrická hustota ale nedosahuje potřebných hodnot.

2. Porovnání jednotlivých baterií

V této části se zabývám porovnáním několika konkrétních případů elektrických úložišť z pohledu na jejich účinnost a výkon. Ty s nejpříznivějšími parametry budou poté použity pro program na snížení ekonomického provozu ve třetí části mé práce. Nejdříve popisuji ekonomickou situaci pro jednotlivé technologie, poté kritéria a ukazatele pro volbu baterií, dále porovnávám několik typů a následně provedu jejich vyhodnocení.

2.1. Možnosti akumulace pro podnik z ekonomického hlediska

V současnosti dochází k prudkému rozvoji produkce akumulátorů. Zatímco dříve dominovaly olověné baterie, dnes se dostávají do popředí lithiové verze. V roce 2014 udělala společnost Navigant Research průzkum a prognózu ceny elektrických článků. Výsledky jsou zobrazeny na Obrázek 2.

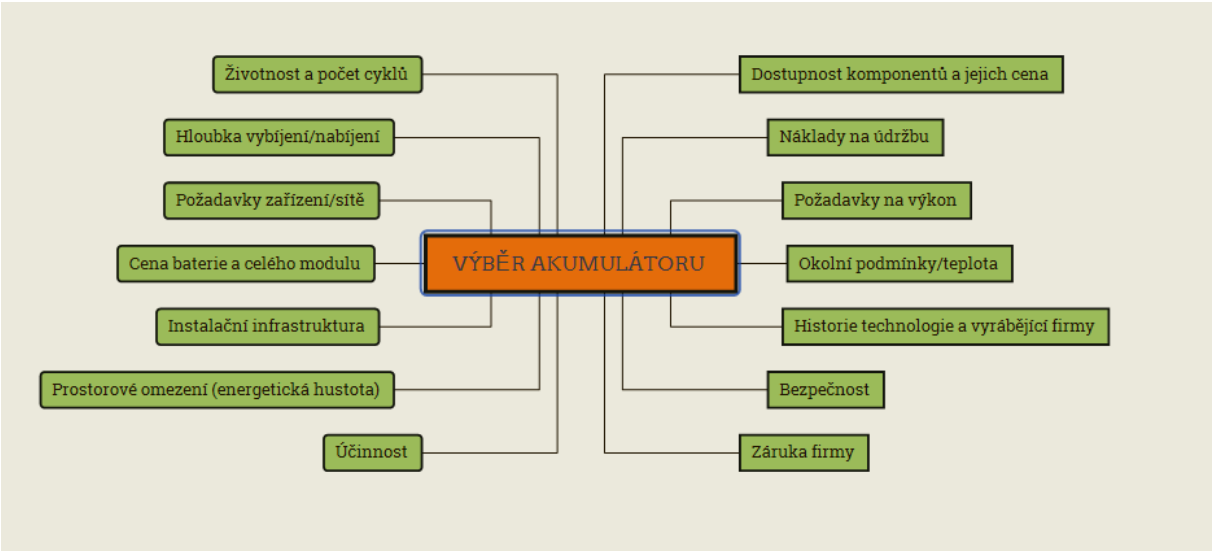


Obrázek 2 Porovnání ceny elektrických článků, převzato z (7)

Z grafu je vidět, že přes celkový pokles cen na kWh, je nejvýhodnější technologie lithium-ionové akumulátory. Významným konkurentem se stávají také průtokové baterie, zvláště díky jejich vyšší životnosti. Proto se v této části jimi budu zabývat, hlavně porovnáváním typů Lithium-ionových baterií.

2.2. Kritéria porovnávání jednotlivých vzorků

Při rozhodování jakou baterii použít pro aplikaci v podniku je pouze cena a kapacita akumulátoru nedostatečný ukazatel. Při volbě bychom se měli soustředit minimálně ještě na hloubku vybíjení (Deep of Discharge – DoD), okolní teplotu, počet nabíjecích cyklů, energetickou hustotu, účinnost. Existuje mnoho dalších ukazatelů kvality baterie, většinu z nich zobrazuje Obrázek 3.



Obrázek 3 Kritéria při volbě akumulátoru, převzato z (7)

Následuje bližší popis několika základních kritérií:

- Hloubka vybíjení je označovaná DoD (Deep of Discharge). K čím hlubšímu vybíjení dochází, tím se snižuje počet nabíjecích cyklů baterie. Pokud například dojde k vybití 10 % baterie, tak 90 % energie v akumulátoru je nevyužito. To je označováno jako 10 % DoD. Většina výrobců udává údaje pro 80 % DoD.
- Životnost určuje, kolik nabíjecích a vybíjecích cyklů baterie dokáže, než přestane být provozuschopná (dokud dokáže dodat 80 – 60 % původní kapacity). Může se udávat až v letech. Velmi ji ovlivňuje okolní teplota a DoD jednotlivých cyklů.
- Účinnost označuje poměr získané energie z baterie a energii, která byla baterii dodána při nabíjení.
- C -rate udává možnosti nabíjení a vybíjení. Baterie, která má hodnotu pro C-rate 1 C, se může nabít, či vybít hodnotou 1 A po dobu 1 hodiny.

2.3. Ukazatele výhodnosti baterie

Z předchozí části je zřejmé, že při výběru baterie musíme pohlížet na mnoho kritérií. Jeden z nejrozšířenějších je Levelised Cost of Energy (LCOE). Udává poměr celkových nákladů během výroby, provozu a recyklace baterie a celkové produkované energii. Následně uvádím vzorec pro jeho výpočet:

$$LCOE = \frac{celková\ cena\ baterie\ za\ její\ životnost}{celková\ poskytnutá\ elektřina\ z\ baterie} = \frac{\sum_t^n (I_t + M_t)}{\sum_t^n E_t}\ [Kč/kWh]$$

Kde:

I_t - investiční a likvidační náklady

M_t – náklady na provoz baterie

n – předpokládaná životnost baterie

E_t – poskytnutá energie za rok t

Pro lepší srovnání budeme dělit výslednou cenu ještě počtem cyklů, abychom nemuseli vybírat baterie s naprosto stejnými parametry a dostali ukazatel s jednotkou [Kč/kWh/cykl].

2.4. Porovnání jednotlivých typů

Existuje mnoho rozdílných typů lithiových baterií. Mnohé mají značný potenciál, ale sériová výroba u všech ještě není zajištěná. Jako hlavní typy akumulátorů pro využití ukládání elektřiny v podniku jsem posuzoval LiCoO2, LiMn2O4, LiNiMnCoO2, LiFePO4, LiNiCoAlO2 a Li4Ti5O12 bateriové články. (8)

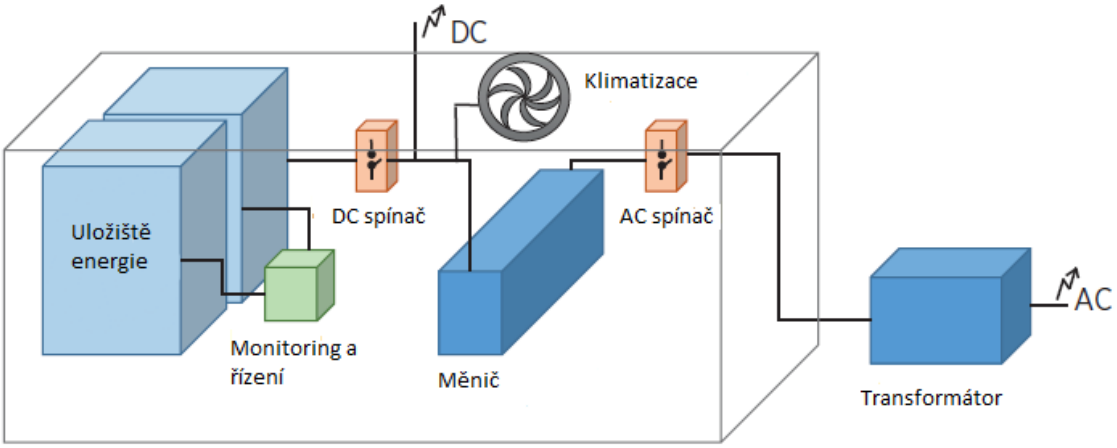
Tabulka 1 Srovnání jednotlivých bateriových článků

Typ bateriového článku	$LiCoO_2$	$LiMn_2O_4$	LiNiMnCoO2	$LiFePO_4$	$LiNiCoAlO_2$	$Li_4Ti_5O_{12}$
Napětí	3.6	3.7	3.6-3.7	3.2-3.3	3.6	2.4
Energetická hustota [Wh/kg]	150 – 200	100-150	150 - 220	90-120	200-260	70-80
Nabíjecí C-Rate	0.7 -1 C	0.7-1 C	0.7-1 C	1 C	0.7 C	1 C
Vybíjecí C-Rate	1 C	1 C	1 C	1 C	1 C	10 C
Počet cyklů	500-1 000	300-700	1 000- 2 000	1 000-2 000	500	3 000 – 7 000

Nejlepších vlastností pro dobu života bateriového článku a vybíjecí energie dosahuje $Li_4Ti_5O_{12}$. Nevýhodou může být nízká energetická hustota a tím větší prostorové nároky na uskladnění baterie.

2.5. Závěrečné vyhodnocení

Pro každou z těchto baterií je nutné ještě uvažovat cenu kontejneru, který bude umožňovat správnou funkci. Primární je usměrňovač, střídač a filtr pro uskladňování i získávání elektřiny. Pro prodloužený život akumulátoru je také důležité zajistit vhodné okolní podmínky. To má za úkol klimatizační jednotka. Pro zvolené typy porovnávaných akumulátorů můžeme považovat cenu za celkový kontejner jako konstantní. Bližší popis celého kontejneru je na Obrázek 4. Řada firem nabízí dodání tohoto kontejneru i s vybavením na míru. Například ABB, Mitsubishi Heavy industries nebo AEG Power solutions.



Obrázek 4 Komponenty kontejneru pro bateriový systém, převzato z (7)

2.6. Možná baterie pro program

Jako jednu z nejnadějněji použitelných baterií pro použití v podniku je Powerpack Systém od společnosti Tesla Energy. Tento produkt nabízí nastavitelný kapacitní systém, integrovaný střídač, kontrolér a instalaci včetně podpůrných servisních služeb. Výhodou je vysoký počet nabíjecích a vybíjecích cyklů před koncem života (degradace na 80 % původní kapacity), kterých dosahuje podle výrobce 5000. Jednotlivé bateriové články jsou sériově a paralelně pospojovány. Na trh byla baterie uvedena v roce 2015 a nyní je uváděna do prodeje novější verze Powerpack 2.

Základní verze, která má kapacitu 100 kWh a poskytuje výkon 50 kW je dostupná už za 1 535 380 Kč. Po dohodě s výrobcem je možné obdržet systém vyrobený na míru.

Při potřebě nižší kapacity pro baterii je možné použít Powerwall 2, který je navržen pro menší podniky a domy. Tato varianta také obsahuje vestavěný střídač. Navíc nabízí záruku na 10 let, což je ve světě baterií jedna z největších výhod. Jednotlivé moduly mají kapacitu 14 kWh a nabízejí výkon 5

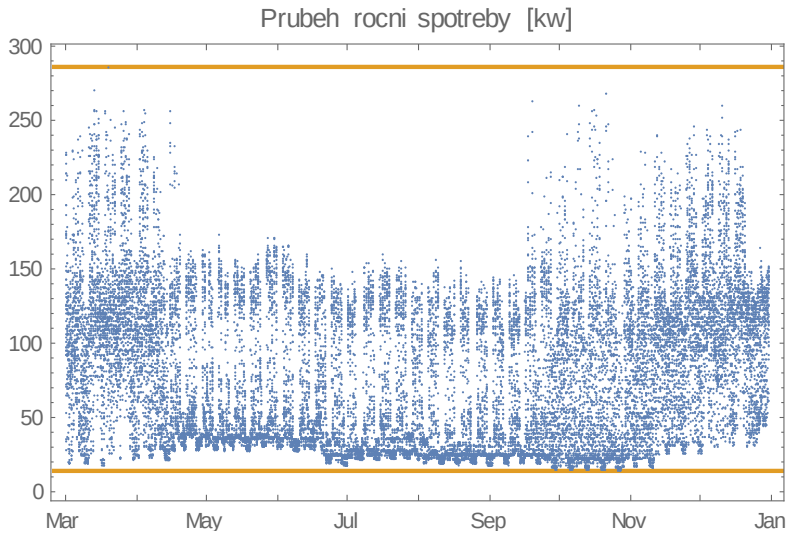
kW a špičkový výkon až 7 kW. Baterie je provozu schopná od -20 °C až do 50 °C. V ceně 7 000 $ je zahrnut také dovoz a instalace produktu. Celková hmotnost je 122 kg a rozměry dosahují 1150 mm x 755 mm x 155 mm. Proto by umístění nemělo představovat problém pro daný podnik. Také je možné instalovat zvolené baterie přímo na zeď a omezit tak jejich prostorové nároky. Je možné využít tento set i pro dobíjení z fotovoltaických panelů a skladování energie pro pozdější účely, to ale není předmětem této práce. (9)

3. Možnosti snížení spotřeby elektřiny pro podnik využitím akumulačních prostředků

V této části se zabývám vytvářením programu pro výpočet kapacity potřebné baterie, provoz a snížení celkové ceny za elektřinu v prostředí Mathematica. Jako ukazatel pro ideální parametry systému slouží čistá současná hodnota pro dobu života baterie.

3.1. Použité údaje

Jako výchozí informace jsem měl k dispozici údaje o spotřebě elektřiny jednoho nejmenovaného podniku z roku 2013 od 1. března až do 31. prosince. Jednalo se o ekvidistantně rozložené hodnoty odebíraného výkonu v patnácti minutových intervalech. Jejich bližší hodnoty jsou na Obrázek 5. Před samotným modelováním byla data upravena z důvodů odlišnosti letního a zimního času. Při přechodu na letní čas byly nahrazeny hodnoty NaN(Not a number) nulovými. Během přechodu na zimní čas byly odstraněny hodnoty v nadbytečné hodině 27. října 2013. Vzhledem k objemu vzorku tyto úpravy měly zanedbatelný vliv na celkový výsledek výpočtu.



Obrázek 5 Spotřeba průmyslového podniku. Modrá - aktuální spotřeba, žlutá - minimální a maximální spotřeba

V grafu je maximální odebíraný výkon tvořen několika špičkami. U nich je potenciál snížit jejich počet nebo vyrovnat průběh spotřeby pomocí bateriového systému. K vyšší spotřebě dochází během zimních měsíců, zároveň můžeme pozorovat změnu v průběhu dne a týdne.

Pokud vypočteme celkovou cenu za elektřinu např. pro měsíc březen podle cen tarifu C25d uvedených v podkapitole 3.2.4 Kalkulace ceny projektu, získáme hodnoty uvedené v Tabulka 2.

Tabulka 2 Cena za elektřinu pro měsíc březen

	Cena [Kč]	Odebraný příkon [kWh]
Vyšší tarif	87 524,6	26 846
Nižší tarif	59 567,2	55 156,2
Cena za jistič (maximální příkon)	3 519	

Je zřejmé, že hlavní složkou ceny pro podnik je cena za elektřinu a snižování ceny za jistič nesníží dostatečně výsledné náklady. Pro současně nastavené cenové tarify bude proto výhodnější ve vyšším tarifu používat elektřinu z baterií a v nižším tarifu odebranou elektřinu zpět dobíjet. Kvůli vyšší pořizovací ceně baterií ale bude potřeba najít jejich ideální kapacitu. Jaké množství energie bude možné dobíjet v NT bude limitováno také velikostí jističe, tedy maximálním příkonem podniku.

3.2. Popis programu

Jako vývojové prostředí pro řešení problému optimalizace jsem použil program Mathematica. Pro výpočet optimální velikosti baterie a průběhu jejího nabíjení a vybíjení je potřeba nejdříve určit samotnou funkci pro výpočet celkových nákladů.

Jako počáteční předpoklady jsem stanovil:

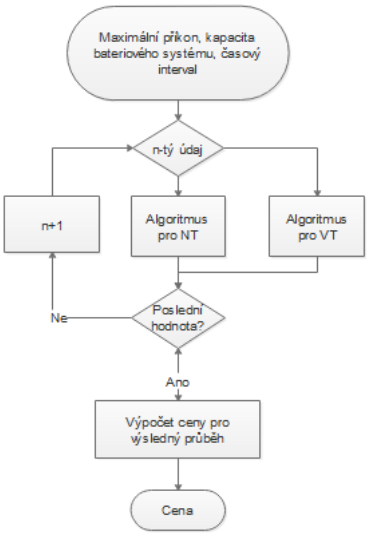
- Připojená baterie bude na začátku nabitá
- Dynamika nabíjení a vybíjení bude okamžitá, nebudou se uvažovat případné prodlevy kvůli změně režimu
- Účinnost nabíjení a vybíjení bude 92%

Jako vstupy jsem uvažoval 5 parametrů : maximální odebíraný příkon, kapacitu baterie a s jakým průměrným dnem pracuji, zda má docházet k výpočtu NPV a diskontní sazbu. Pro lepší představu průběhu byly použity výstupy pro stav nabíjení (kapacita baterie, spotřeba ve NT, VT, penalizační funkce), celková cena za spotřebu elektřiny a cenu baterie pro průměrný den, výsledek penalizační funkce, cashflow projektu, NPV a ušetřená částka za rok. Celková funkce je

$$\left\{\begin{matrix}\text{prubehNabijeni, cenaEnergie,}\\ \text{cenaNT, cenaVT,}\\ \text{cenaPrikon, cenaBaterieJ,}\\ \text{penaleEnd, cashFlow,}\\ -\text{NPV, usetreno za rok}\end{matrix}\right\} = \text{cena}\left\{\begin{matrix}\text{max. příkon, kapacita baterie,}\\ \text{data pro průměrný den, dopočet npv,}\\ \text{diskontní sazba}\end{matrix}\right\}$$

Program vybere hodnotu spotřeby pro n-tý údaj v daný průměrný den. Pokud je v daný čas doba VT, pak se spustí algoritmus pro vyšší tarif, podobně v případě NT. Následuje navýšení na další údaj o

spotřebě až do poslední hodnoty pro zvolený interval. Poté následuje vyhodnocení pro celkovou cenu vypočteného průběhu. Základní schéma je na Obrázek 6



Obrázek 6 Základní popis programu

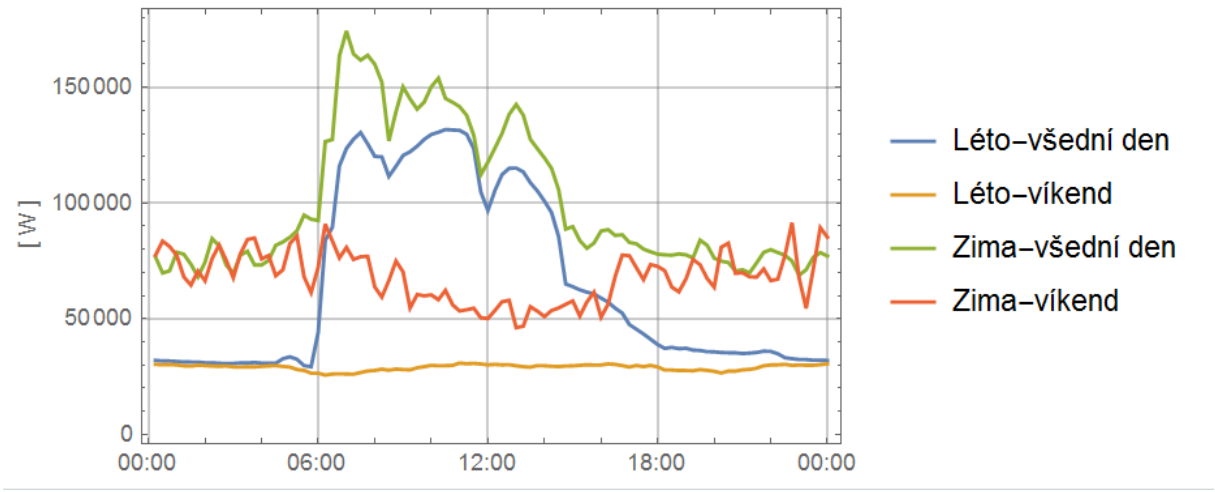
Ke snížení ekonomických nákladů využívám cenu za jistič, dvoutarifní cenový systém pro cenu elektřiny a cenu za bateriový systém. V prvním případě bylo mým cílem snížit maximální odebíraný výkon a zároveň dosáhnout snížení spotřeby ve vyšším tarifu. Baterie v době připojení byla 100 % nabitá.

3.2.1. Vstupy do programu

Maximální příkon byl zadán ve Wattech, maximální kapacita baterie byla zvolena v Joulech. Údaje pro spotřebu ve vypočtených průměrných dnech byly ve Wattech po 15-minutových intervalech. Jejich výpočet probíhal následovně.

K dispozici jsem měl naměřená data za období 10 měsíců. Optimalizační funkce byla časově náročná a pro výpočet ceny projektu jsem z dat utvořil průměrnou denní spotřebu pro:

- Letní všední den – údaje za květen - září
- Letní den během víkendu -údaje za červen-září
- Zimní všední den-údaje za říjen-prosinec
- Zimní den během víkendu-údaje za říjen-prosinec



Obrázek 7 Průběhy spotřeby pro průměrné dny

Z grafu pro spotřebu je patrná vyšší spotřeba v zimním období a téměř konstantní provoz během víkendů. Pro zjednodušení výpočtu jsem prováděl výpočty s rokem, který obsahuje 52 týdnů a je poskládán z těchto průměrných dní.

Pokud vstup dopocet je nastaven na False, program vypočte pouze cenu za průměrný den, v případě hodnoty dopocet True program vypočítá i celkovou roční úsporu a NPV projektu na dobu 10 let.

Diskontní sazba se udává v desetinném čísle.

3.2.2. Algoritmus pro NT

V České republice existují v rámci vyrovnávání denní spotřeby a výroby elektřiny dva tarify. V době nižšího tarifu je cena za elektřinu snížena, aby došlo ke zvýšení její spotřeby. Pro tarif C25d je doba trvání 8 hodin a může být rozdělena do více intervalů v průběhu dne. Každý ale musí trvat minimálně 1 hodinu.

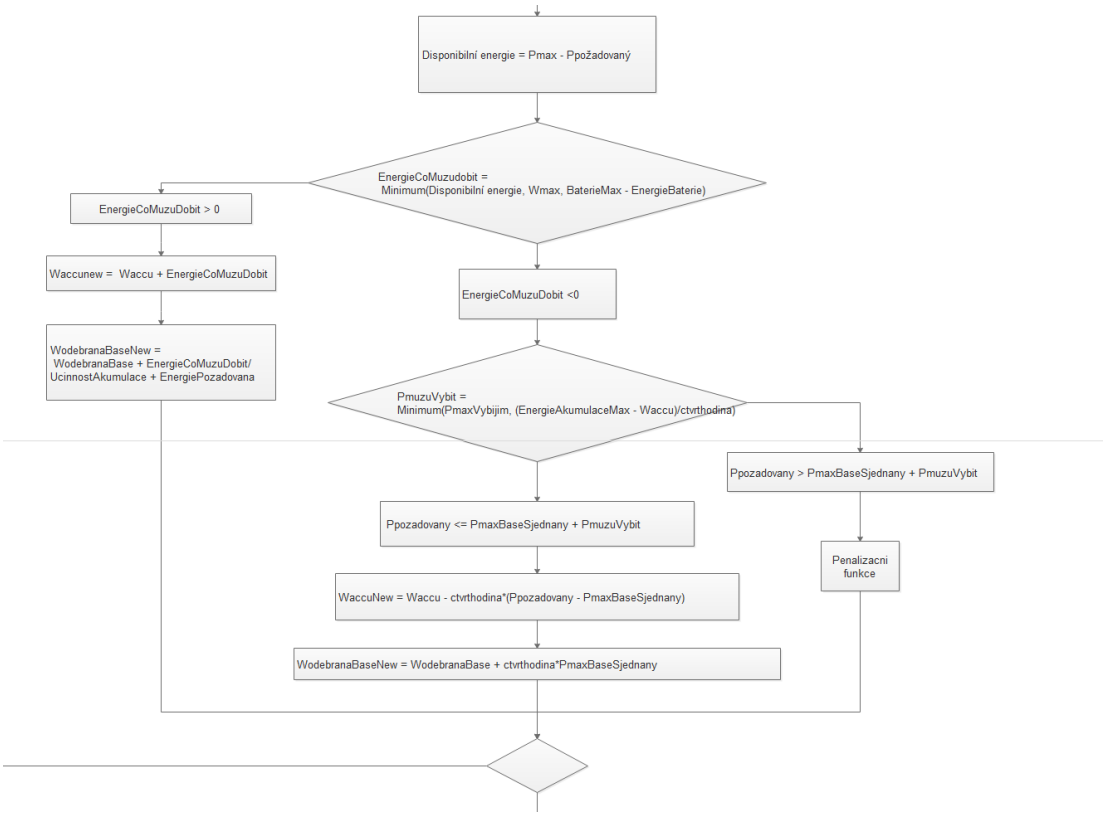
V době NT se nejdříve vypočítala hodnota disponibilní energie. Jednalo se o rozdíl mezi maximálním příkonem a aktuální spotřebou. Následně se vybere hodnota EnergieCoMuzuDobit jako minimum z disponibilní energie, maximální energie, kterou můžeme baterii dobíjet a rozdílem mezi jmenovitou kapacitou baterie a aktuální kapacitou. Tento postup vyplývá z důvodů 3 stavů, které mohou nastat:

- DispEnergieCoMuzuDobit je kladné hodnoty. To znamená, že můžu dobíjet baterii energií, která je menší nebo rovna maximální dobíjecí energii baterie a zároveň má baterie dostatečnou volnou kapacitu pro uložení této energie.
- DispEnergieCoMuzuDobit je záporné hodnoty a baterie může poskytnout dostatečnou energii na pokrytí nedostatku elektřiny.
- DispEnergieCoMuzuDobit je záporné hodnoty a baterie nemůže poskytnout dostatečnou energii na pokrytí nedostatku elektřiny. V takovém případě dochází k nežádoucímu stavu a je

použita penalizační funkce, která exponenciálně navýší hodnotu a omezí tuto variantu při optimalizaci.

V prvním případě je navyšována celková spotřeba v nižším tarifu (Wbase) o spotřebu podniku a energii uloženou do baterie. Uložená elektřina je snížená o ztráty při nabíjení. Ve druhém je Wbase navyšována o rozdíl spotřeby podniku a dodané energie z baterie.

Celkový diagram algoritmu pro dobu v NT je na Obrázek 8.



Obrázek 8 Algoritmus pro NT

Pro každý údaj o spotřebě podniku v době NT dojde k tomuto vyhodnocení a uložení hodnot o spotřebě v nižším tarifu a aktuální kapacitě baterie.

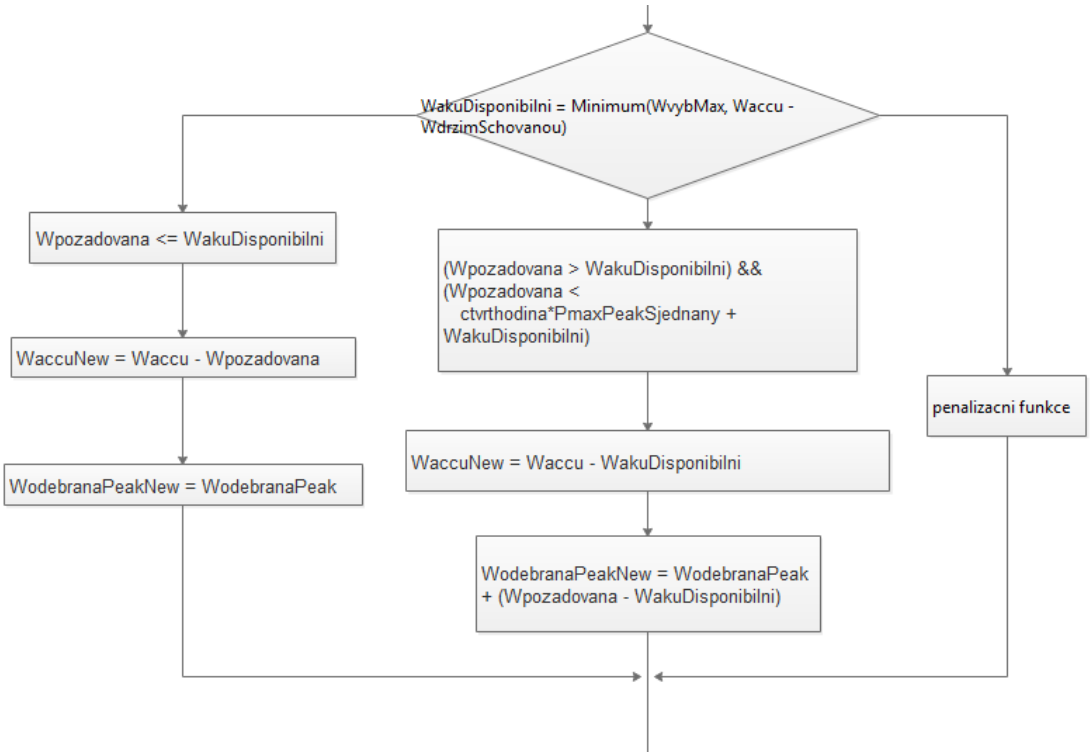
3.2.3. Algoritmus pro VT

Pro vyšší tarif je postup podobný jako u nižšího tarifu. Jen kvůli vyšší ceně elektřiny není výhodné nabíjet baterii. Disponibilní energie je určena jako minimum z maximální vybíjecí energie baterie (parametr baterie), kapacity baterie a maximální povolené vybíjené energie pro udržení nabité baterie na konci dne. Může nastat stav kdy :

- Aktuální spotřeba je menší než disponibilní energie baterie. Použiji pouze energii z baterie.
- Aktuální spotřeba je vyšší než disponibilní energie baterie a potřebná energie je nižší než maximální příkon. Použiji energii z baterie a zbytek pokryji elektřinou ve vyšším tarifu.

- Aktuální spotřeba je vyšší než disponibilní energie baterie a potřebná energie je vyšší než maximální příkon. Nastává nežádoucí stav, kdy je použita penalizační funkce.

V prvním případě pouze snižuji akumulovanou energii v baterii. U druhé možnosti dochází už i k nárůstu spotřeby elektřiny ve vyšším tarifu. Celkový popis algoritmu pro vyšší tarif je na obrázku Obrázek 9

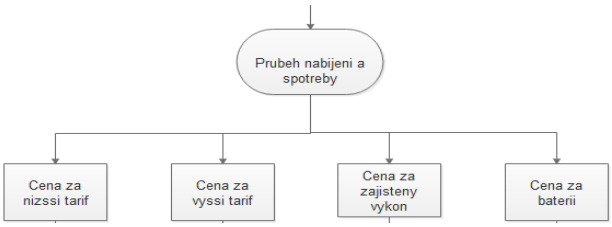


Obrázek 9 Algoritmus pro VT

Aktuální kapacita baterie a spotřebovaná energie je jako výstup z této části programu.

3.2.4. Kalkulace ceny projektu

Podle základního popisu algoritmu na Obrázek 6 následuje stanovení ceny z výsledných hodnot. Jedná se konkrétně o cenu za elektřinu, za maximální příkon a za bateriový systém. Stručné rozdělení je na Obrázek 10.



Obrázek 10 Algoritmus pro výpočet ceny

3.2.4.1. Cena elektřiny za 1 kWh

V České republice existuje několik cenových tarifů. Pro podnikatele se označují písmenem C a dále se dělí na 12 typů. V roce 2016 se připravoval nový tarifní systém, který by udělal z instalovaného jističe hlavního tvůrce ceny za elektřinu. Ten ale byl nakonec Energetickým regulačním úřadem zrušen. V následující tabulce je seznam jednotlivých tarifů.

Tabulka 3 Popis jednotlivých tarifů pro skupinu C

Typ tarifu	Specifikace	Podmínky pro splnění
C01d	Jednotarifní sazba	Žádné
C02d	Jednotarifní sazba pro vyšší odběry	Žádné
C03d	Jednotarifní sazba pro vyšší odběry	Žádné
C25d	Dvoutarifní sazba, NT po dobu 8 h	Vlastnictví elektrického akumulačního spotřebiče pro vytápění budovy nebo ohřev vody
C26d	Dvoutarifní sazba, NT po dobu 8 h	Vlastnictví elektrického akumulačního spotřebiče pro vytápění budovy nebo ohřev vody, který spotřebuje více než 55% celkového příkonu
C27d	Dvoutarifní sazba, NT po dobu 8 h	Nutnost vlastnictví elektromobilu nebo potvrzení o jeho leasingu
C35d	Dvoutarifní sazba, NT po dobu min. 16 h	V místě odběru musí být řádně instalovány hybridní (smíšené) ohřívače vody
C45d	Dvoutarifní sazba, NT po dobu min. 20 h	V místě odběru řádně instalovány přímotopné elektrické spotřebiče pro vytápění objektu, musí tvořit více jak 40 % celkového příkonu
C55d	Dvoutarifní sazba, NT po dobu 22 h	V místě odběru řádně nainstalován a používán systém vytápění s tepelným čerpadlem, jehož výkon odpovídá tepelným ztrátám vytápěného objektu
C56d	Dvoutarifní sazba, NT po dobu 22 h	V místě odběru řádně nainstalován a používán systém vytápění s tepelným čerpadlem, jehož výkon odpovídá minimálně 60 % tepelných ztrát vytápěného objektu.
C60d	Platba za instalovaný výkon	Není možné technicko – ekonomicky měřit řádně odběr měřicím zařízením

		distributora a celkový instalovaný příkon v odběrném místě nepřesáhne 1000 W.
C61d	Dvoutarifová platba za instalovaný výkon ve víkendovém režimu	Není možné řádně technicko – ekonomicky měřit odběr měřicím zařízením distributora, hlavně pro účely poskytování internetu do distribučních sítí.
C62d		Určeno pro veřejné osvětlení.

Pro účely energetického podniku můžeme uvažovat s tarify C25d, C26d případně C27d. Pro C26d je podmínkou využití více než 55% spotřebované elektřiny na ohřev vody. To bohužel nesplňujeme. Podnik nevlastní v současné době elektromobil, vybereme si pro výpočet tedy tarif C25d a to od společnosti E-on z řady Variant Pro.

Bližší podmínky a vlastnosti tarifu C25d

- Doba nízkého tarifu je minimálně 8 hodin, v průběhu dne se ale tato doba může měnit. Pokud dojde k rozdělení, tak nesmí být úseky více než 3 a každý musí trvat déle než hodinu.
- V odběrném místě musí být řádně instalován elektrický akumulační spotřebič pro vytápění nebo elektrický akumulační spotřebič pro ohřev horké vody. Při zapnutí vyššího tarifu je zákazník povinen blokovat elektrické akumulační spotřebiče.

Použité částky za elektřinu platí pro rok 2016 a jejich bližší rozložení je v následující tabulce. Jedná se pouze o ceny za 1 MWh, cena za použitý jistič je v tabulce 1.

Tabulka 4 Cena elektřiny za 1MWh pro C25d

Část ceny za elektřinu		Cena [Kč/MWh]
Dodávka elektřiny	Vyšší tarif	1 427
	Nižší tarif	845
	Daň z elektřiny	34,24
Distribuce	Vyšší tarif	1 774,01
	Nižší tarif	81,34
	Systémové služby	120,65

	Činnosti operátora trhu	7,96
	Podpora elektřiny z podporovaných zdrojů energie	585,95

Celková cena za 1 MWh elektřiny pro C25d bude (10)

- Vyšší tarif - 3 355,49 Kč
- Nižší tarif - 1 080,81 Kč

Navíc budou ještě stále ceny za měsíc, ty ovšem nebudou mít vliv na změnu průběhu v programu.

Časové období pro nižší tarif během všedního dne a víkendu je (11)

- 2:50 – 6:55
- 14:50-16:50
- 21:10-23:15

3.2.5. Výpočet ceny za jistič

Podnik, pro který jsem měl údaje o spotřebě, se nacházel na úrovni VN. Pro to se cena určovala jako cena za jistič a ne za rezervovaný příkon. Pro výpočet jeho velikosti lze použít vzorec

$$I = \frac{Pm}{U_f * \cos\varphi} \; [\,A\,]$$

Kde:

P_m – maximální odebíraný výkon podniku za dané období

U_f – fázové napětí

$\cos\varphi$ – účiník pro podnik, uvažována hodnota 0,95

Pro vybraný tarifní systém poté určujeme cenu podle vypočteného jističe pro položky

- Cena za jistič
- Příspěvek na obnovitelné zdroje

Kde cena za jistič je určena podle Tabulka 5.

Tabulka 5 Cena za jistič pro tarif C25d

Typ jističe	Cena [Kč/měsíc]
jistič nad 3x25 A do 3x32 A včetně	175
jistič nad 3x32 A do 3x40 A včetně	219
jistič nad 3x40 A do 3x50 A včetně	273
jistič nad 3x50 A do 3x63 A včetně	345

Oproti ceně za 1 MWh se jedná o nižší částky. Přesto případnou změnu pro jistič používám v programu. (10)

3.2.6. Cena pořízené baterie

Cena baterie bude záležet na zvolené kapacitě a její požadavkům na provoz. Určování ceny baterie ve funkci pro pozdější optimalizaci je potřeba převést celkovou cenu na daný časový úsek, během kterého je funkce použita. Toho je dosáhnuto vztahem

$cena\ baterie = kapacita\ baterie * cena\ za$ 1 Joule baterie/doba života

3.2.7. Výpočet NPV

Při nastavení hodnoty vstupu do programu dopocet na True dochází k výpočtu NPV. K tomu je potřeba znát pořizovací cenu baterie a celkovou ušetřenou částku za rok. Uspořenou částku za rok pro průměrný den lze zjistit jako

$$\begin{aligned} uspořená\ cena\ za\ \ 1\ den \\ &= cena\ za\ 1\ den\ bez\ použití\ baterie - cena\ za\ 1\ den\ s\ použitím\ baterie \\ &- cena\ za\ 1\ den\ baterie \end{aligned}$$

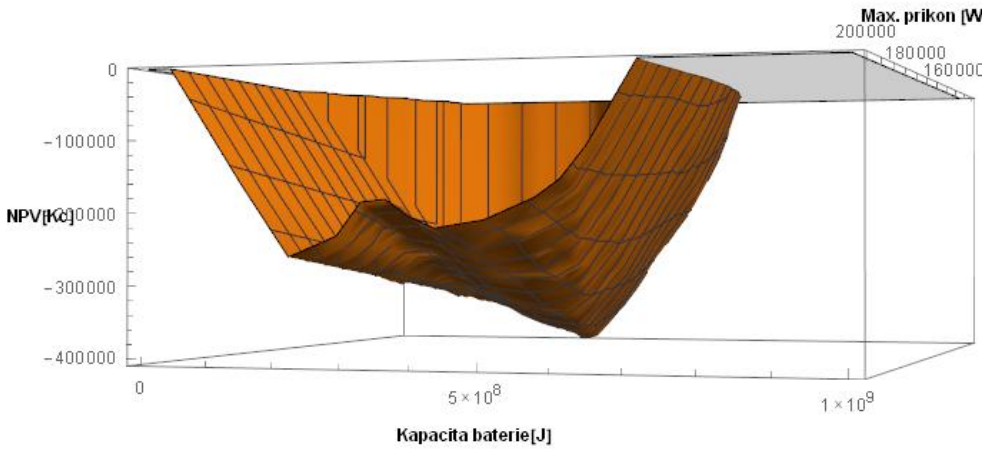
Tento výpočet se provede pro každý ze 4 průměrných dnů (Letní všední den, Letní den během víkendu, Zimní všední den, Zimní den během víkendu). A celková částka za rok (52 týdnů) je roven

$$\begin{aligned} ušetřeno\ za\ 1\ rok \\ &= (uspořená\ cena\ za\ letní\ víkendový\ \ den \\ &+ uspořená\ cena\ za\ zimní\ víkendový\ den)/2 * 2 * 52 \\ &+ (uspořená\ cena\ za\ letní\ všední\ \ den + uspořená\ cena\ za\ zimní\ všední\ den)/2 \\ &* 5 * 52 \end{aligned}$$

Program Mathematica umožňuje rychlý výpočet NPV pomocí ekonomické funkce TimeValue. Jako vstupy používá Cashflow, diskontní sazbu a v případě nerovnoměrného cashflow i údaj o době života projektu.

3.2.8. Optimalizace funkce

Po určení celkové funkce pro výpočet ceny systému při známých vstupech se může přistoupit k samotné optimalizaci. Abychom se vyvarovali možným naleznutí nesmyslným výsledkům, je v programu cena přidána penalizační funkce v případě záporné maximální kapacity baterie a maximálního příkonu. Cílem je nalezení nejlepších parametrů pro ekonomickou stránku projektu při změnách parametrů pro maximální rezervovaný příkon a kapacitě baterie. Proto jako minimalizovaná veličina bylo zvoleno NPV. Jako vstupy programu byla použita cena za 1kWh baterie Powerwall 2 a diskontní sazba 5 %. Výsledný průběh při změně vstupů kapacity baterie a maximálního možného příkonu lze vidět na Obrázek 11.



Obrázek 11 Zobrazení funkce pro výpočet NPV

Jako možná výhodný se projekt vyhodnotí pouze když NPV dosahuje pozitivních hodnot. Protože jsem použil funkce pro nalezení minima, je před výstup NPV z funkce cena přidáno znaménko mínus. Na výsledném grafu jsou proto zobrazovány hodnoty od minima funkce až do 0.

Program Mathematica nabízí několik funkcí pro hledání globální minimální hodnoty. Jako např. Minimize nebo Nminimize, který využívá numerických metod. V tomto případě bylo ale použito FindMinimum, které je schopné najít lokální minimum. Při zvolení vhodných počátečních bodů se podstatně zvyšuje rychlost algoritmu a ten je schopný najít nejnižší hodnotu.

Bylo potřeba zajistit vyhodnocování veličin v průběhu programu, aby si jednotlivé funkce nepředávaly odkazy na proměnné. Toho bylo dosaženo aplikací NumericQ a tím vynucené předávání skutečných hodnot a umožnění spouštění funkcí If a výpočtu ceny za další průměrné dny.

Další výhodou může být použití metody PrincipalAxis. Celkové zadání pro hledání minima je zadáno jako :

FindMinimum[{fce[Max. příkon, kapacita baterie]}, {{Max. příkon, počáteční bod}, {Kapacita baterie, počáteční bod}}, Method -> "PrincipalAxis"]

Kde PrincipalAxis zajišťuje lepší průběh nacházení minima, pokud je obtížné pro funkci vypočítat všechny derivace. To je tento případ, kvůli množství použitých penalizačních funkcí a tím způsobených skoků ve výsledku. Tato metoda může být pomalejší pro hledání minima více parametrů, pro tuto úlohu ale zařídila mnohem rychlejší výpočet. (12)

4. Ekonomické vyhodnocení variant

Tato část pojednává o vyhodnocení použitého programu pro optimalizaci nabíjení a vybíjení baterie v průmyslovém podniku a možnosti ekonomické úspory. Vzhledem k finanční náročnosti pořízení baterie jsem posuzoval možnosti, kdy podnik nemá celý kapitál na počáteční investici.

4.1. Použité metody

4.1.1. Doba návratnosti

Doba návratnosti je jedno z nejjednodušších metod na posuzování investice. Při tomto postupu ale nedochází k finančnímu srovnávání s ostatními variantami a zanedbává se míra inflace. Udává pouze za jakou dobu se vrátí investice do projektu. Je vyhodnocována podle vzorce

$$TN_p = \frac{IN}{CF}$$

Kde:

IN – počáteční investice [Kč]

CF- roční peněžní tok (roční uspořená částka) [Kč]

Jako počáteční investici jsem uvažoval cenu bateriového systému. Pro určení roční uspořené částky jsem odečetl od ceny za elektřinu při chodu bez baterie cenu při za elektřinu při použité baterii.

4.1.2. Čistá současná hodnota

Abych získal ekonomické porovnání, použil jsem koeficient čisté současné hodnoty. Tento ukazatel udává, jakou částku na daném projektu můžeme za časový interval získat oproti druhé nejvýhodnější možnosti. Jedna z klíčových věcí je určení vhodného diskontu r. Pro podnik můžeme předpokládat, že hodnota 11 % je přiměřená. Bližší údaje by bylo možné získat například citlivostní analýzou. Vztah pro NPV (Net Present Value) je:

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Kde :

CF_t – cash flow (peněžní tok) pro daný rok t [Kč]

r – zvolený diskont [%]

n – životnost projektu, celkový počet let na který je projekt posuzován [rok] (13)

4.1.3. Vnitřní výnosové procento

Tento ukazatel udává pro jakou nejmenší diskontní sazbu je daný projekt ještě výhodný. Patří k jednomu z všeobecně užívaných indikátorů relativní návratnosti. Také je znám pod zkratkou IRR (Internal Rate of Return). Výpočet určuje vzorec

$$0 = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

Lze použít, pokud je v projektu po investici kladné cashflow. V opačném případě může dojít k více řešením rovnice. (13)

4.1.4. Citlivostní analýza

Metoda citlivostní analýzy zjišťuje vliv na nejisté vstupy do projektu a zejména jejich následující vliv na ekonomický ukazatel. Její význam je v uvědomění si dopadu proměnných a určení jejich hraničních hodnot pro výhodnost projektu. Metodika pro postup je následující

1. Určit pro jaké proměnné bude analýza provedena
2. Změnit proměnou o 1%
3. Určit výslednou procentuální změnu na ekonomickém ukazateli, např. NPV

Pro zvolenou proměnou je možné provádět změnu ve větším rozsahu pro pozdější interpretaci výsledků. (13)

4.2. Získané výstupy jednotlivých variant

Pro porovnání jednotlivých variant jsem nejdříve určil cenu za spotřebu pro variantu, kdy podnik nepoužívá žádnou baterii. K získání možnosti s vhodnou baterií podle ekonomického vyhodnocení jsem jako základní variantu použil baterii od společnosti Tesla Energy. A to Powerwall 2 a sníženou budoucí cenu baterie. Obě tyto varianty mají podobné parametry pro úschovu energie. Zásadní rozdíl je v pořizovací ceně v závislosti na celkové kapacitě.

4.2.1. Varianta bez baterie

Program na vyhodnocování ideální kapacity a maximálního příkonu využívá pro počítání NPV roční ušetřenou částku. Pro určení této sumy jsem vyhodnotil cenu pro průměrné dni pro víkend a všední den a variantu v zimním a letním období. Celkové výsledky jsou v Tabulka 6 i s cenou za 1 rok (52 týdnů).

Tabulka 6 Celková cena za elektřinu průměrných dní

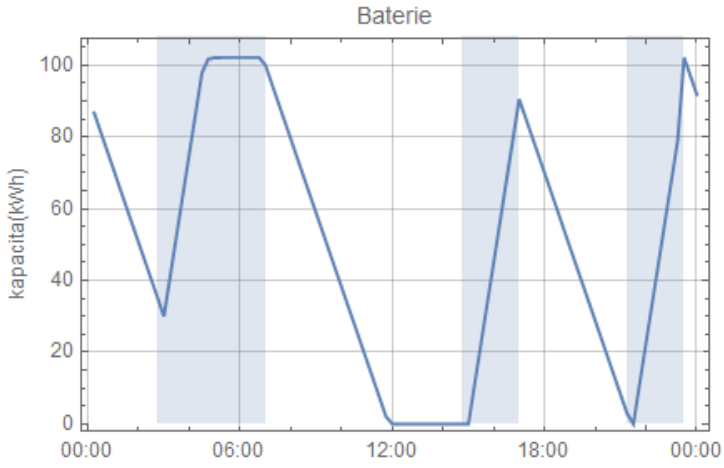
Typ průměrného dne	Celková cena za elektrickou energii za 1 rok [Kč]
Zimní den víkend	4 223.69
Zimní všední den	6 604
Letní den víkend	4 425.28
Letní všední den	1 924.57
Cena celkem za rok	1 753 515,92

4.2.2. Varianta pro Powerwall 2

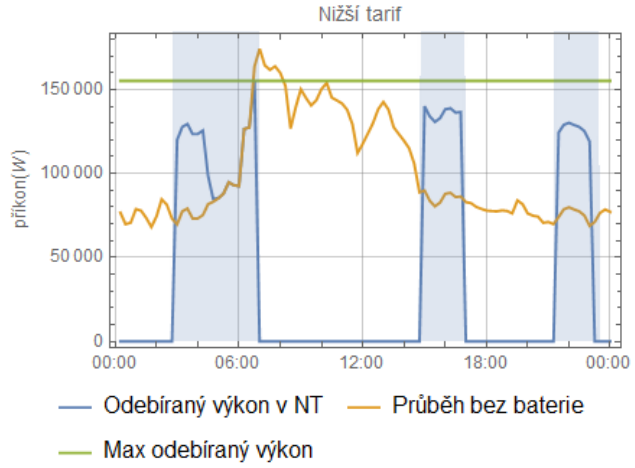
Při použití bateriového systému Powerwall 2 je hlavní výhodou záruka na dobu 10 let. Cena za 1kWh je 12 960 Kč. Při vložení vstupů životnosti 10 let, diskontní sazby 5 % a zachování nabíjení a vybíjení na 92 % vyjde celkové NPV projektu na 402 389 Kč. Nejideálnější hodnota pro maximální příkon je 155 104 W a pro baterii je celková kapacita 102 ,109 kWh.

Tento typ baterie dosahuje NPV přiměřených hodnot pro desetiletý projekt. Došlo ke snížení maximálního odebíraného výkonu a roční uspořené částce na 223 523 Kč. Při investici 1 323 597 Kč do celkového systému, je doba návratnosti 6 let. To splňuje podmínku pro nižší dobu návratnosti, než je doba projektu a tato velikost také zajišťuje dostatečnou výnosnost. IRR vychází 10,87 %. Ukazatel IRR dosahuje také vysokých hodnot.

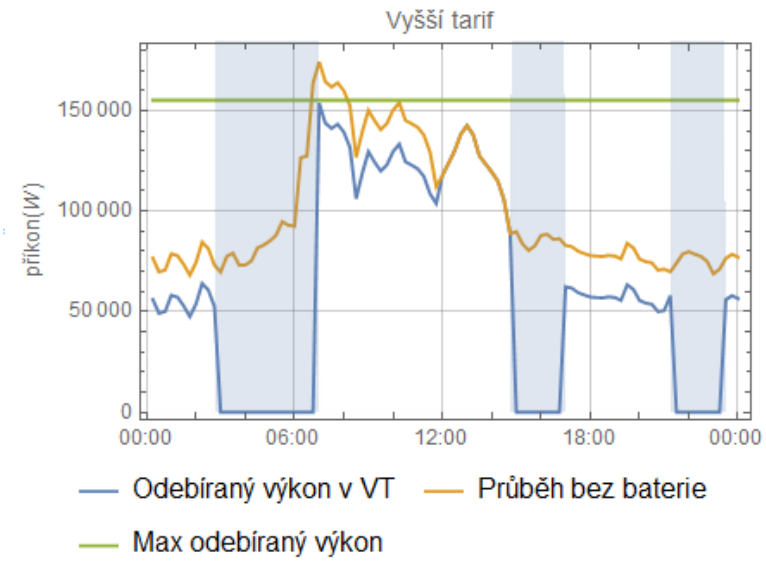
Celkový průběh pro energeticky nejnáročnější zimní všední den lze vidět v následujících grafech. Pomocí světle modrých pruhů je vyznačena doba nižšího tarifu během dne.



Obrázek 12 Průběhy pro kapacitu baterie



Obrázek 13 Zobrazení průběhu spotřeby elektrické energie v době nižšího tarifu



Obrázek 14 Zobrazení průběhu spotřeby elektrické energie v době vyššího tarifu

Z grafů pro průběh baterie je zřejmé, že SOC baterie během vybíjení klesne až na nulové hodnoty v době mezi 12:00 až 15:30. Tedy využíváme její maximální potenciál. Zároveň na konci dne dosahuje SOC stejných hodnot jako na počátku, proto nedochází ke ztrátě energie v akumulátoru a je ověřeno, že můžu použít hodnoty z průměrných dní pro získání roční ušetřené částky.

V průbězích pro NT narostla spotřeba na začátku tarifu, ale pod maximální odebíraný příkon. Z důvodů ztrát při ukládání energie do akumulátoru nedochází k většímu snižování odběru elektřiny v NT. Ve VT dochází ke snížení spotřeby, jen pro dobu od 6:00 do 15:30 není kapacita baterie dostatečná a dochází k jejímu vybití už po 4 hodinách.

Při použití baterie o ceně 12 960 Kč za 1kWh dochází ke kladnému NPV projektu. Dodržení podmínek pro správný chod dobíjení (nezáporná kapacita baterie, nedobíjení nad 100 %, nedobíjení pokud není

k dispozici dostatečné množství energie atd.) potvrzuje nulový výstup pro penalizační funkci v programu. Dochází i ke snížení maximálního příkonu, lepšímu vyrovnání denní zátěže a tím i snížení zatížení sítě. Program ale počítá se zajištěním podmínek pro správnou funkci zároveň se zákaznickým servisem, a proto nedochází k degradaci kapacity baterie a jejího nabíjení. V praxi ale můžou tyto faktory vést k snížení NPV.

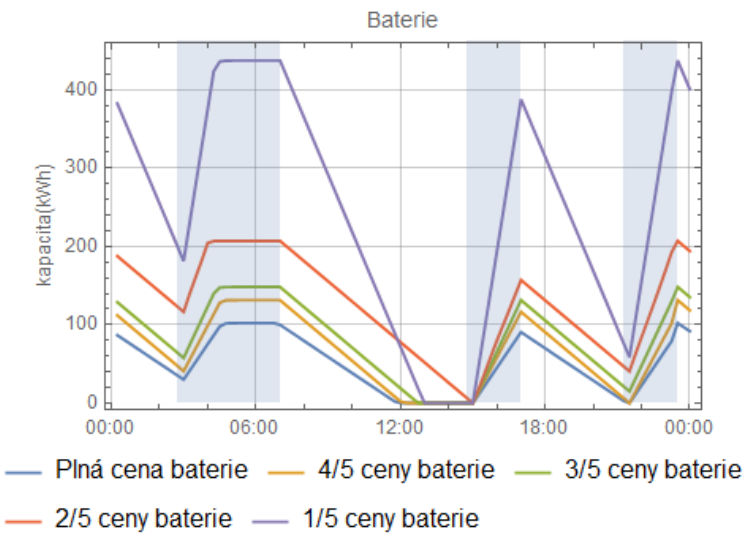
4.2.3. Varianta pro budoucí baterii

Vzhledem k neustále se vyvíjejícím technologiím na poli baterií se dá předpokládat zlepšení kvality provozu bateriových systémů, snížení ceny bateriových článků a prodloužení doby života. Proto jsem použil citlivostní analýzu na cenu baterie a sledoval vliv na NPV zvoleného projektu. Změny byly provedené pro baterii Powerwall 2 a uvažovaná změna byla pro cenu za 1 kWh. Celková životnost projektu zůstala na 10 letech.

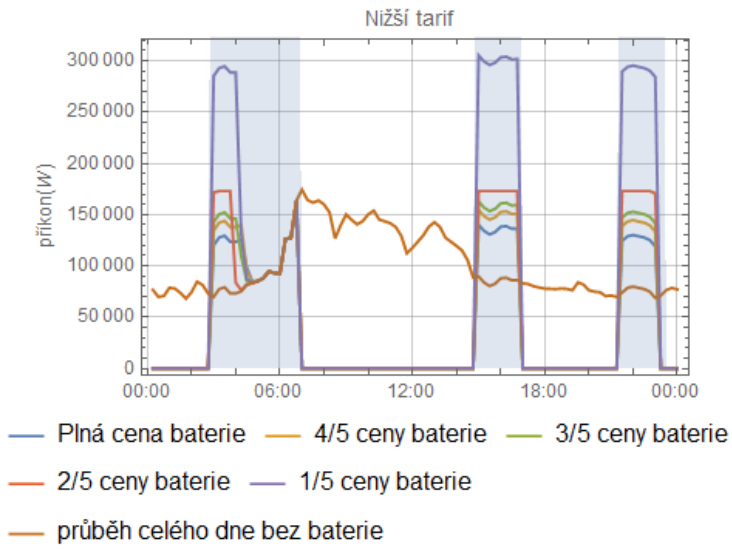
Důvod pro snížení ceny baterie nemusí být jen zvýšení objemu výroby, ale také zkvalitnění výrobní technologie, parametrů baterie nebo finanční podpora od státu v zájmu vyrovnání grafu spotřeby. V současné době není tarifní systém dostatečně motivující k tomuto vyrovnávání, a proto výsledky programu preferují snížení spotřeby ve VT před snižováním maximálního odběru energie. Pro porovnávání jsem snižoval cenu baterie a sledoval projevení na NPV projektu. V Tabulka 5 je uvedena změna NPV projektu v závislosti na snižování ceny baterie za 1kWh. Maximální vybíjecí a nabíjecí energie byla stanovena na polovinu.

Cena baterie [Kč/kWh]	12 960	10 368	7 776	5 184	2 592
Celková investice za ideální kapacitu baterie [Kč]	1 323 597	1 362 560	1 152 943	1 073 778	1 134 020
Ušetřeno za rok [Kč]	223 523	265 435	284 790	336 388	499 154
NPV [Kč]	402 389	687 055	1 046 128	1 523 722,8	2 720 311
Doba návratnosti [rok]	6	6	5	4	3
IRR [%]	10,87	14,42	21,04	28,84	42,77

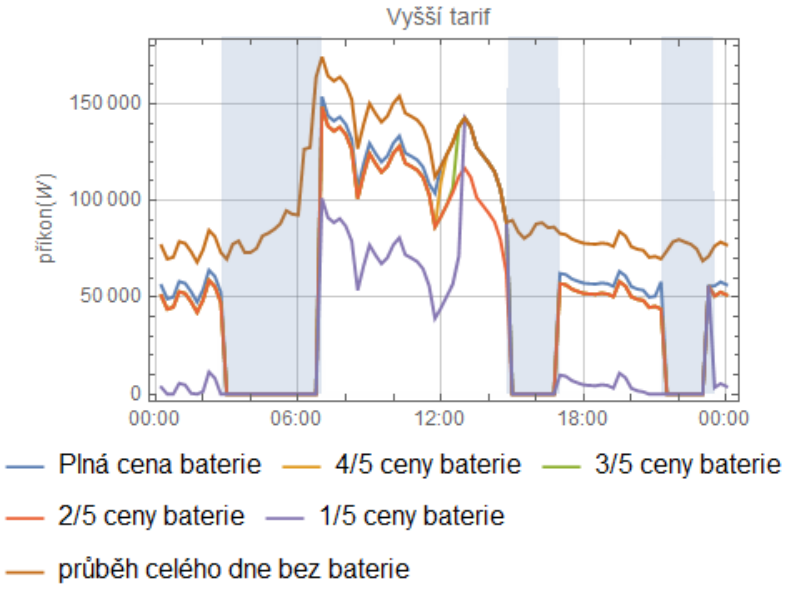
Průběh změny kapacity baterie pro různé ceny je vidět na obrázku Obrázek 15. Největší skok je při snížení ceny na 1/5 původní změny. To ale také způsobuje zvýšení maximálního příkonu pro podnik v NT. Ideální případ by tedy byl u 2/5 ceny akumulátoru za 1 kWh, kdy dochází k plnému využití maximálního příkonu v době NT.



Obrázek 15 Průběhy pro kapacitu baterie snižování ceny za 1 kWh kapacity baterie



Obrázek 16 Zobrazení průběhu spotřeby elektrické energie v době nižšího tarifu



Obrázek 17 Zobrazení průběhu spotřeby elektrické energie v době vyššího tarifu

4.2.4. Závěrečné vyhodnocení

Při použití baterií Powerwall 2 od firmy Tesla Energy s tarifem C25d od společnosti Eon dochází k pozitivním výsledkům pro čistou současnou hodnotu projektu. Doba trvání je 10 let a zvolená diskontní sazba je 5 %.

5. Závěr

Pro ukládání elektrické energie existuje v současnosti mnoho způsobů. Dělí se podle přeměny na mechanickou, elektromagnetickou, chemickou, elektrochemickou energii nebo přeměnu na teplo. Přičemž nejrozvíjenější způsob akumulace je pomocí přečerpávacích elektráren a největší škálu možností mají elektrochemické akumulátory, nejrozšířenější olověné baterie a stále rozvíjené Li-Ionové baterie.

Při výběru vhodné baterie je potřeba brát ohledy na mnoho faktorů, ale mezi nejdůležitější patří C-rate baterie, počet nabíjecích a vybíjecích cyklů a účinnost baterie. Cenově jsou nejvýhodnější a pro několik následujících let ještě budou Li-Ionové akumulátory. Jako nejvhodnější baterie pro využití úschovy elektrické energie je Powerwall 2 od společnosti Tesla Energy.

Program posuzující nejvhodnější velikost baterie a maximálního příkonu podniku využívá tyto hodnoty k určení pro nejvyšší čistou současnou hodnotu projektu. Hlavní potenciál ve snižování ekonomických nákladů ale není ve snižování maximálního příkonu podniku ale ve spotřebě elektrické energie z baterie v době vyššího tarifu a jejího dobíjení v nižším tarifu. Při hledání minima jsem použil matematické funkce programu Mathematica.

Při samotném posuzování jsem používal jako ekonomické ukazatele prostou dobu návratnosti, čistou současnou hodnotu a vnitřní výnosové procento. Nejdříve jsem určil cenu pro vypočtené průměrné dny bez využití baterie. Poté bylo možné vyhodnocovat ideální parametry baterie pro akumulátor Powerwall 2 pro dobu životnosti 10 let, kterou poskytuje záruka společnosti Tesla Energy. Výsledné NPV překvapilo poměrně vysokými hodnotami NPV a IRR pro kapacitu baterie 102 kWh a maximální příkon 155 104 W. Došlo tedy ke zlepšení diagramu denní spotřeby. Při snižování ceny za 1 kWh baterie z důvodů budoucího vývoje došlo ke zvýšení maximálního příkonu až při radikálním snížení na 1/5 ceny baterie. V ostatních případech nedocházelo k navyšování maxima denní spotřeby. Současný tarifní systém nemotivuje dostatečně k většímu snížení spotřeby, je možné ale využívat rozdílné ceny ve vyšším a nižším tarifu.

6. Použitá literatura

1. **Roční zpráva o provozu ES ČR. [Online] 2014. [Citace: 12. 2 2016.] https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2014.pdf/933fc41a-ad79-4282-8d0f-01eb25a63812.**

2. DOE/EPRI Electricity Storage Handbook. *www.sandia.gov.* [Online] Sandia National Laboratories, 2 2015. [Citace: 12. 2 2016.] http://www.sandia.gov/ess/publications/SAND2015-1002.pdf.

3. Activity report 2015. *www.ease-storage.eu.* [Online] 2015. [Citace: 12. 2 2016.] http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/05/2016.05.10-EASE-AR2015_LR.pdf.

4. M.Cenek. *Akumulátory a baterie.* Praha : STRO.M,Knižnice Elektro, 1996.

5. RAHN, Christopher D. a Zhaoyang WANG. *Battery systems engineering.* Chichester : Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2013. 1119979501.

6. Ruud Kempener, Gustavo de Vivero. *Renewables and electricity storage: A technology roadmap for REmap 2030.* Bonn : IRENA, 2015.

7. Ruud Kempener, Eric Borden. *Battery Storage for Renewables : Market Status and Technology Outlook.* Bonn : IRENA, 2015.

8. BU-205: Types of Lithium-ion. *Battery University.* [Online] Isidor Buchmann, 2016. [Citace: 27. 10 2016.] http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion.

9. Powerwall 2. [Online] Tesla Energy, 2016. [Citace: 17. 11 2016.] https://www.tesla.com/powerwall?redirect=no.

10. Ceník Standart Power. [Online] E.ON Energie, 2015. [Citace: 30. 8 2016.] https://www.eon.cz/-a2483?field=data.

11. www.cez.cz. *Časy spínání HDO.* [Online] ČEZ, a.s., 2016. [Citace: 30. 8 2016.] https://www.cez.cz/cs/podpora/technicke-zalezitosti/pro-odberatele/hdo.html.

12. Documentation Center. *Wolfram Language & System.* [Online] Wolfram, 2016. [Citace: 13. 10 2016.] http://reference.wolfram.com/language/.

13. Sieber, Ing. Patrik. *Analýza nákladů a přínosů: Metodická příručka.* místo neznámé : Ministerstvo pro místní rozvoj , 2004.

14. Haoran Zhao, Qiuwei Wu, Shuju Hu, Honghua Xu, Claus Nygaard Rasmussen, *Review of energy storage system for wind power integration support*, Applied Energy, Volume 137, 1 January 2015, Pages 545-553, ISSN 0306-2619, http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.103.

15. BRUNET, Yves. *Energy storage* [online].1st pub. Hoboken; London;: ISTE, 2011. ISBN 9781848211834;184821183X

7. Seznam tabulek

Tabulka 1 Srovnání jednotlivých bateriových článků 17
Tabulka 2 Cena za elektřinu pro měsíc březen 21
Tabulka 3 Popis jednotlivých tarifů pro skupinu C 26
Tabulka 4 Cena elektřiny za 1MWh pro C25d 27
Tabulka 5 Cena za jistič pro tarif C25d 29
Tabulka 6 Celková cena za elektřinu průměrných dní 34

8. Seznam obrázků

Obrázek 1 Světové rozdělení uložišť energie v MW, převzato z (6) 14
Obrázek 2 Porovnání ceny elektrických článků, převzato z (7) 15
Obrázek 3 Kritéria při volbě akumulátoru, převzato z (7) 16
Obrázek 4 Komponenty kontejneru pro bateriový systém, převzato z (7) 18
Obrázek 5 Spotřeba průmyslového podniku. Modrá - aktuální spotřeba, žlutá - minimální a maximální spotřeba 20
Obrázek 6 Základní popis programu 22
Obrázek 7 Průběhy spotřeby pro průměrné dny 23
Obrázek 8 Algoritmus pro NT 24
Obrázek 9 Algoritmus pro VT 25
Obrázek 10 Algoritmus pro výpočet ceny 25
Obrázek 11 Zobrazení funkce pro výpočet NPV 30
Obrázek 12 Průběhy pro kapacitu baterie 34
Obrázek 13 Zobrazení průběhu spotřeby elektrické energie v době nižšího tarifu 35
Obrázek 14 Zobrazení průběhu spotřeby elektrické energie v době vyššího tarifu 35
Obrázek 15 Průběhy pro kapacitu baterie snižování ceny za 1 kWh kapacity baterie 37
Obrázek 16 Zobrazení průběhu spotřeby elektrické energie v době nižšího tarifu 37
Obrázek 17 Zobrazení průběhu spotřeby elektrické energie v době vyššího tarifu 38

9. Přílohy

9.1. Doba spínání NT

9.2. Ceník pro dodávku elektřiny

Platnost od 1. 1. 2015

Produktová řada **StandardPower**

Ceník dodávky elektřiny E.ON Energie, a.s., pro zákazníky kategorie C – Podnikatelé, produktová řada StandardPower, distribuční území E.ON Distribuce, a.s.

	Produkt dodávky elektřiny		Standard (dříve také „E.ON StandardPower")						Acu (dříve také „E.ON StandardPowerAcu")				Combi (dříve také „E.ON StandardPowerCombi")		Direct (dříve také „E.ON StandardPowerDirect")				Light (dříve také „E.ON StandardPowerLight")		
Cena za dodávku elektřiny	ve VT	Kč/MWh			1 495	1 809					1 691	2 046	1 712	2 072			1 751	2 119	1 569	1 414	01
	v NT	Kč/MWh			-	-					1 072	1 297	1 336	1 617			1 404	1 699	-	-	02
	stálý měsíční plat	Kč/měsíc			58	70					58	70	58	70			58	70	58	70	03
Daň z elektřiny	sazba daně z elektřiny	Kč/MWh			28,30	34,24					28,30	34,24	28,30	34,24			28,30	34,24	28,30	34,24	04
Cena za distribuci elektřiny	Sazba distribuce		C 01d		C 02d		C 03d		C 25d, C 27d		C 26d		C 35d		C 45d, C 56d		C 55d		C 62d		
	ve VT	Kč/MWh	2 444,55	2 957,91	1 986,60	2 403,79	981,68	1 187,59	1 712,93	2 072,65	915,89	1 108,23	747,26	904,18	218,18	264,00	218,18	264,00	266,77	322,79	05
	v NT	Kč/MWh	-	-	-	-	-	-	66,77	80,79	66,77	80,79	66,77	80,79	66,77	80,79	66,77	80,79	-	-	06
Měsíční plat v Kč za příkon dle hodnoty hlavního jističe	jistič do 3x10 do 1x25A	Kč/měsíc	6	7	41	50	504	610	111	134	315	381	378	457	384	465	56	68	84	102	07
	jistič do 3x16A včetně	Kč/měsíc	10	12	66	80	806	975	178	215	504	610	605	732	614	743	90	109	134	162	08
	jistič do 3x20A včetně	Kč/měsíc	13	16	82	99	1 008	1 220	222	269	630	762	756	915	768	929	112	136	168	203	09
	jistič do 3x25A včetně	Kč/měsíc	16	19	102	123	1 260	1 525	278	336	788	953	945	1 143	960	1 162	140	169	210	254	10
	jistič do 3x32A včetně	Kč/měsíc	20	24	131	159	1 613	1 952	355	430	1 008	1 220	1 210	1 464	1 229	1 487	180	218	269	325	11
	jistič do 3x40A včetně	Kč/měsíc	25	30	164	198	2 016	2 439	444	537	1 260	1 525	1 512	1 830	1 536	1 859	224	271	334	407	12
	jistič do 3x50A včetně	Kč/měsíc	32	39	205	248	2 520	3 049	555	672	1 575	1 906	1 890	2 287	1 920	2 323	281	340	420	508	13
	jistič do 3x63A včetně	Kč/měsíc	40	48	258	312	3 175	3 842	699	846	1 985	2 402	2 381	2 881	2 419	2 927	353	427	529	640	14
	jistič do 3x80A včetně	Kč/měsíc	50	61	328	397	4 032	4 879	888	1 074	2 520	3 049	3 024	3 659	3 072	3 717	449	543	672	813	15
	jistič do 3x100A včetně	Kč/měsíc	63	76	410	496	5 040	6 098	1 110	1 343	3 150	3 812	3 780	4 574	3 840	4 646	561	679	840	1 016	16
	jistič do 3x125A včetně	Kč/měsíc	79	96	512	620	6 300	7 623	1 388	1 679	3 938	4 765	4 725	5 717	4 800	5 808	701	848	1 050	1 271	17
	jistič do 3x160A včetně	Kč/měsíc	101	122	655	793	8 064	9 757	1 776	2 149	5 040	6 098	6 048	7 318	6 144	7 434	898	1 087	1 344	1 626	18
	jistič nad 3x160 A za A	Kč za 1 A/měsíc	0,63	0,76	4,10	4,96	50,40	60,98	11,10	13,43	31,50	38,12	37,80	45,74	38,40	46,46	5,61	6,79	8,40	10,16	19
	jistič nad 1x25A za A	Kč za 1 A/měsíc	0,21	0,25	1,37	1,66	16,80	20,33	3,70	4,48	10,50	12,71	12,60	15,25	12,80	15,49	1,87	2,26	2,80	3,39	20
Cena za související služby	systémové služby	Kč/MWh	105,27	127,38	105,27	127,38	105,27	127,38	105,27	127,38	105,27	127,38	105,27	127,38	105,27	127,38	105,27	127,38	105,27	127,38	21
	podporované výkupu el. z OZE, KVET a DZ	Kč/MWh	495,00	598,95	495,00	598,95	495,00	598,95	495,00	598,95	495,00	598,95	495,00	598,95	495,00	598,95	495,00	598,95	495,00	598,95	22
	činnost OTE	Kč/MWh	6,94	8,40	6,94	8,40	6,94	8,40	6,94	8,40	6,94	8,40	6,94	8,40	6,94	8,40	6,94	8,40	6,94	8,40	23
Celková jednotková cena elektřiny	ve VT	Kč/MWh	4 575,06	5 535,82	4 117,11	4 981,70	3 111,99	3 765,51	4 039,44	4 887,72	3 242,40	3 923,30	3 094,77	3 744,67	2 604,69	3 151,67	2 604,69	3 151,67	2 071,28	2 506,25	24
	v NT	Kč/MWh	-	-	-	-	-	-	1 774,28	2 146,88	1 774,28	2 146,88	2 038,28	2 466,32	2 106,28	2 548,60	2 106,28	2 548,60	-	-	25
	měsíční platy	Kč/měsíc	58 + plat dle příslušné hodnoty jističe bez DPH (70 + plat dle příslušné hodnoty jističe s DPH)																		26

Uvedené ceny zahrnují ceny za distribuci a související služby pro rok 2015 dle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 2/2014 a č. 3/2014 ze dne 25. listopadu 2014 a dále ceny za dodávku elektřiny platné od 1. 1. 2015.
Tučně uvedené ceny jsou bez DPH. Ostatní ceny jsou včetně DPH 21 % a jsou pouze orientační.

Výpočet celkové roční platby za elektřinu

Platba za spotřebu elektřiny **ve VT** (roční spotřeba MWh ve VT × cena z řádku č. 24)
+ platba za spotřebu elektřiny **v NT** (roční spotřeba MWh v NT × cena z řádku č. 25)
+ **měsíční platy** (počet měsíců × cena z řádku č. 26)

Výpočet celkové jednotkové ceny (ř. 24 až 26)

- za spotřebu 1 MWh **ve VT** (ř. č. 24) = (ř. č. 01 + 04 + 05 + 21 + 22 + 23)
- za spotřebu 1 MWh **v NT** (ř. č. 25) = (ř. č. 02 + 04 + 06 + 21 + 22 + 23)
- výše **měsíčních platů** (ř. č. 26) = (ř. č. 03 + jeden z ř. 07 až 20 dle hodnoty jističe)

Sazba pro neměřené odběry

C60d – pevná cena distribuce **16,90 Kč** (20,45 Kč) a **C61d** – pevná cena distribuce **19,46 Kč** (23,55 Kč)
cena za každých (i započatých) 10 W instalovaného příkonu nebo za odběrné místo

V cenových srovnáních a obchodních sděleních bude společnost E.ON Energie, a.s. na tento ceník odkazovat také pod názvem **Ceník StandardPower**.

Vysvětlivky a poznámky

VT - vysoký tarif, **NT** - nízký tarif, **A** - Ampér, **OZE** - obnovitelné zdroje, **KVET** - kombinovaná výroba elektřiny a tepla, **DZ** - druhotné zdroje, **OTE** - Operátor trhu s elektřinou, a.s., **MWh** - Megawatthodina (1 MWh = 1000 kWh)

Pro přiznání sazby distribuce musí zákazník splnit příslušné podmínky dle platného Cenového rozhodnutí ERÚ.

Délka platnosti NT během dne. Po zbývající dobu platí VT.

Jaký produkt na dodávku si můžete zvolit?

Každý z produktů na dodávku elektřiny je vázán k určité sazbě distribuce. Pro její přiznání musí zákazník nejprve splnit příslušné podmínky odpovídající sazby distribuce.

V případě jakýchkoli dotazů či nejasností nám zavolejte zdarma na E.ON Zákaznickou linku **800 77 33 22** nebo napište na email **info@eon.cz**.

E.ON Energie, a.s.
F. A. Gerstnera 2151/6
370 49 České Budějovice
www.eon.cz

9.3. Program pro optimalizaci baterie

```
In[1]:= pom = pom;
Remove["Global`*"];
SetDirectory[NotebookDirectory[]];
$HistoryLength = 3;
pom = Import["dat1a.xls"][[1]];
startdat = pom[[1, 1]];
vykony = 10^3 * (Last /@ pom);
PmaxOdber = Max[vykony];
PminOdber = Min[vykony];
Print["Pmax= ", PmaxOdber, " W,  Pmin= ", PminOdber, " W"];
hodina = 3600;
ctvrthodina = 0.25 * hodina;

nden = 24 * 4;
```

```
Pmax= 286000. W,  Pmin= 0. W
```

```
(* utvareni funkce pro VT a NT *)
```

```
In[14]:= v1 = ConstantArray[False, 2 * 4 + 3];(* VT 0to2h45  *)
v2 = ConstantArray[True, 4 * 4]; (*NT 2h45to6h45 *)
v3 = ConstantArray[False, 8 * 4];(* VT 6h45to14h45 *)
v4 =  ConstantArray[True, 2 * 4];(*NT 14h45to16h45 *)
v5 = ConstantArray[False, 4 * 4 + 2];(*VT*)
v6 = ConstantArray[True, 2 * 4];(*NT 21h15to23h15*)
vKonec = ConstantArray[False, 3];
sablonaDen = Join[v1, v2, v3, v4, v5, v6, vKonec];
sablonaDen = RotateLeft[sablonaDen, -3];

datP = vykony;
base[n_] := sablonaDen[[n]];
```

```
U = 400;
(* cena za elektrinu pro NT,VT a prikon*)
cena1JoulePeak = 3.35549/(hodina * 1000); (*cena VT*)
cena1JouleBase = 1.08081/(hodina * 1000); (*cena NT*)
cosFi = 0.95;
cenazaPrikon[PmaxPeakSjednany_] :=
 Module[{PmaxOdberCelkem, Proud, cenaPrikonu},
  Proud = PmaxPeakSjednany/(Sqrt[3] * U * cosFi);
  Proud * 13.43
 ]

ηAccu = 0.9;
PvybMax = 30 000;
fPenale[ΔP_] := Exp[10^-4 ΔP] - 1;
dobaZivota = 10 * 365 * 24 * 4;
(*doba zivota baterie ve ctvrthodinach, na 10 let*)

cenaJoule = 7000 * 25.92 / (14 000 * 3600); (* Tesla powerwall 2*)
 (*Tesla powerpack pri 100 kWh*)
baterieSystem = 0;
```

Out[32]= 2.14167

Out[33]= 0.00346071

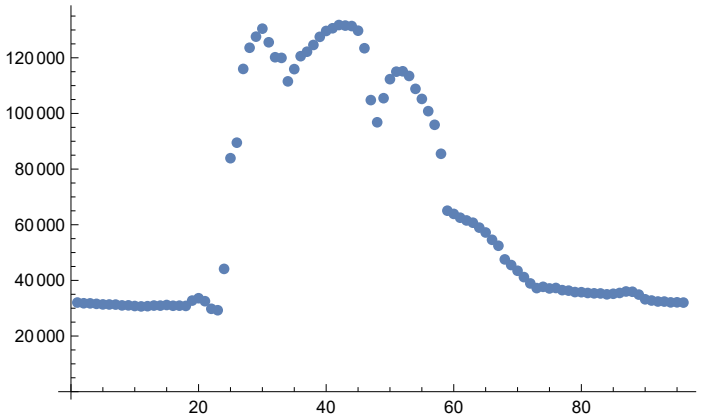
Out[34]= 0.0036

Letni udaje

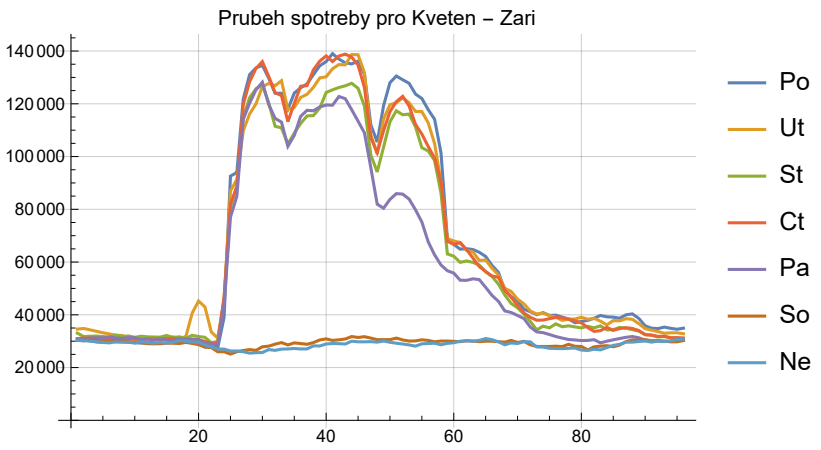
In[36]:=

```
(*brezen-31,duben-30,kveten-31,cerven-30,cervenec-31,
srpen-31,zari-30,rijen-31,listopad-30,prosinec-31*)
(*pocatecniden -(*patek*)*)
letniVykony = Take[vykony, {nden * (31 + 30), nden * (31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31)}];
(*hodnoty za cerven-srpen*)
(*zacatek letnich hodnot - streda*)

dnyLetniVykony = Partition[letniVykony, 24 * 4];
tydenLetniVykony = Partition[dnyLetniVykony, 7];

prumLetniSt = Mean[tydenLetniVykony[[All, 1]]];
prumLetniCt = Mean[tydenLetniVykony[[All, 2]]];
prumLetniPa = Mean[tydenLetniVykony[[All, 3]]];
prumLetniSo = Mean[tydenLetniVykony[[All, 4]]];
prumLetniNe = Mean[tydenLetniVykony[[All, 5]]];
prumLetniPo = Mean[tydenLetniVykony[[All, 6]]];
prumLetniUt = Mean[tydenLetniVykony[[All, 7]]];

prumVsedLetDen =
  (prumLetniPo + prumLetniUt + prumLetniSt + prumLetniCt + prumLetniPa) / 5;
prumLetVikend = (prumLetniSo + prumLetniNe) / 2;

ListPlot[{prumVsedLetDen}]
ListPlot[{prumLetniPo, prumLetniUt, prumLetniSt,
  prumLetniCt, prumLetniPa, prumLetniSo, prumLetniNe},
 Joined → True, PlotLegends → {"Po", "Ut", "St", "Ct", "Pa", "So", "Ne"},
 GridLines → Automatic, PlotLabel -> "Prubeh spotreby pro Kveten - Zari"]
```

Out[48]=



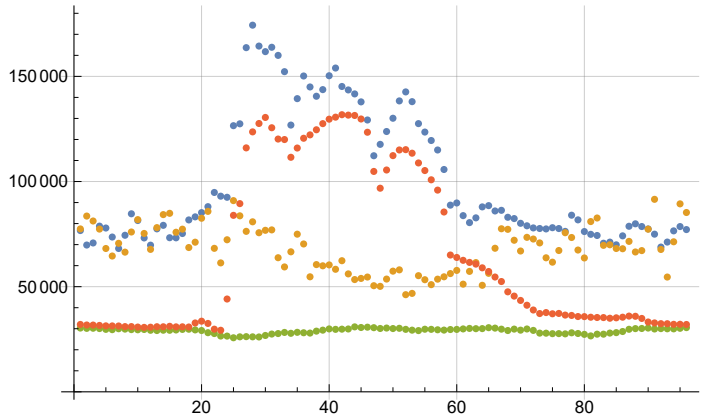
Out[49]=


Prubeh spotreby pro Kveten – Zari
140 000
120 000
100 000
80 000
60 000
40 000
20 000
20
40
60
80
Po
Ut
St
Ct
Pa
So
Ne

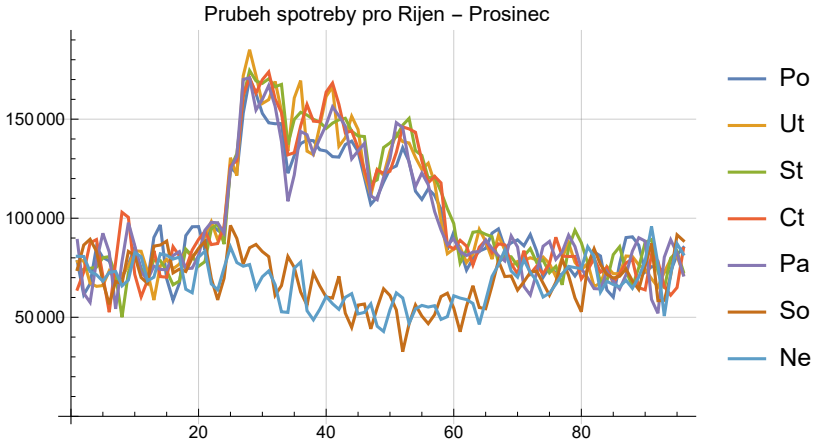
Zimni udaje

In[50]:=
```
zimniVykony = Take[vykony, {nden * (31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 30),
    nden * (31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 30 + 31 + 30 + 30)}];

dnyZimniVykony = Partition[zimniVykony, 24 * 4];
tydenZimniVykony = Partition[dnyZimniVykony, 7];

prumZimniSt = Mean[tydenZimniVykony[[All, 2]]];
prumZimniCt = Mean[tydenZimniVykony[[All, 3]]];
prumZimniPa = Mean[tydenZimniVykony[[All, 4]]];
prumZimniSo = Mean[tydenZimniVykony[[All, 5]]];
prumZimniNe = Mean[tydenZimniVykony[[All, 6]]];
prumZimniPo = Mean[tydenZimniVykony[[All, 7]]];
prumZimniUt = Mean[tydenZimniVykony[[All, 1]]];

prumVsedZimDen =
  (prumZimniPo + prumZimniUt + prumZimniSt + prumZimniCt + prumZimniPa) / 5;
prumZimVikend = (prumZimniSo + prumZimniNe) / 2;

ListPlot[{prumVsedZimDen, prumZimVikend, prumLetVikend, prumVsedLetDen},
 GridLines → Automatic]
ListPlot[{prumZimniPo, prumZimniUt, prumZimniSt, prumZimniCt,
  prumZimniPa, prumZimniSo, prumZimniNe}, Joined → True,
 PlotLegends → {"Po", "Ut", "St", "Ct", "Pa", "So", "Ne"},
 GridLines → Automatic, PlotLabel -> "Prubeh spotreby pro Rijen - Prosinec"]
```

Out[62]=

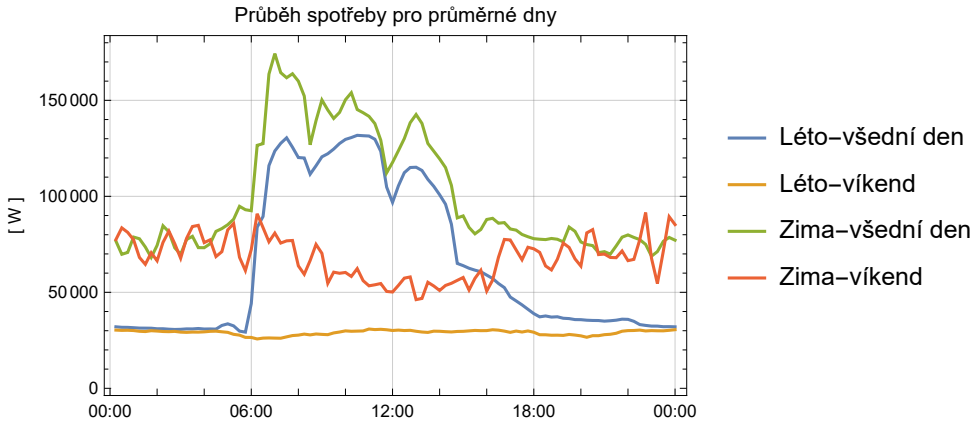


Out[63]=



In[64]:=
```
max = Max[prumVsedLetDen];
dataLetoVsed = ConstantArray[0, 96];
dataLetoVikend = ConstantArray[0, 96];
dataZimaVsed = ConstantArray[0, 96];
dataZimaVikend = ConstantArray[0, 96];

(*utvareni dat pro DateListPlot*)
For[i = 1, i < 96 + 1, i++, {dataLetoVsed[[i]] =
   List[List[2006, 10, 10, Floor[i / 4], Mod[i, 4] * 15], prumVsedLetDen[[i]]]}]
For[i = 1, i < 96 + 1, i++, {dataLetoVikend[[i]] =
   List[List[2006, 10, 10, Floor[i / 4], Mod[i, 4] * 15], prumLetVikend[[i]]]}]
For[i = 1, i < 96 + 1, i++, {dataZimaVsed[[i]] =
   List[List[2006, 10, 10, Floor[i / 4], Mod[i, 4] * 15], prumVsedZimDen[[i]]]}]
For[i = 1, i < 96 + 1, i++, {dataZimaVikend[[i]] =
   List[List[2006, 10, 10, Floor[i / 4], Mod[i, 4] * 15], prumZimVikend[[i]]]}]

prumVsedZimDen = RotateLeft[prumVsedZimDen, -3];
DateListPlot[{dataLetoVsed, dataLetoVikend, dataZimaVsed, dataZimaVikend},
 GridLines → Automatic, PlotLabel -> "Průběh spotřeby pro průměrné dny",
 PlotLegends → {"Léto-všední den", "Léto-víkend",
   "Zima-všední den", "Zima-víkend"}, FrameLabel → "[ W ]"]
(* cena za spotrebu pro prumerne dny
*)
```

Out[74]=



In[76]:=
```
cenaZimVikendBB = 4223.69;
cenaZimDenBB = 6604;
cenaLetDenBB = 4425.28;
cenaLetVikendBB = 1924.57;
```

In[80]:=
```
denCtvrthodiny = dataLetoVsed[[All, 1]];
(* vektor dennich hodnot pro vykreslovani DateListPlot grafu*)
```

In[81]:=
```
(* kolik muzu maximalne vybit z baterie
 pro zachovani SOC jako na zacatku prumerneho dne*)
muzuDobit2[data_, n_, Pmax_] :=
 Module[{NTPozice, NTHodnoty, Pdisponibilni, PdisponibilniNT},
  Pdisponibilni = ConstantArray[0, Length[data]];
  For[i = 1, i < 97, i++, Pdisponibilni[[i]] = Max[{Pmax - data[[i]], 0}]];
  PdisponibilniNT = Pdisponibilni * Boole[sablonaDen];
  Total[Take[PdisponibilniNT, {1, 96}]] / Length[Take[sablonaDen, {1, 96}]]]
```

Vypocet optimalni baterie

In[83]:=
```
cena[{PmaxSjednany_, EnergieAkumulaceMax_, data_, dopocet_, diskont_}] :=
  Module[{krokPeak, krokBase, krok, pocatek, nEnd, WaccuEnd, WbaseEnd,
    WpeakEnd, penaleEnd, cenaEnergie, cenaCelkem, prubehNabijeni,
    vystup, PmaxVybijim, cenaNT, cenaVT, cenaPrikon, cenaBaterieJ,
    cenaSystem, penaleStart, usetreno, cashFlow, NPV, maxPrikon, a, b},
   penaleStart = 0;
   (*overeni aby nepouzivla program zapornou hodnotu baterie,
   zaporny vykon nez je mozny a jine blbosti*)
   If[EnergieAkumulaceMax < 0, penaleStart = -EnergieAkumulaceMax * 1 111 111 111 111 111];
   If[PmaxSjednany < 0, penaleStart = -PmaxSjednany * 1 111 111 111 111 111];

   (*1.]]
    rozepsana funkce co delat kdyz je nizsi tarif*)
   krokBase[{n_, Waccu_, WodebranaBase_, WodebranaPeak_, penale_}] :=
    Module[{Ppozadovany, Pdisponibilni, EnergieCoMuzuDobit,
      WodebranaPeakNew, WodebranaBaseNew, nNew, WaccuNew,
      EnergiePozadovana, penaleNew, PmuzuVybit, WakuMax, PmaxNabijim},
     WodebranaPeakNew = WodebranaPeak;

     nNew = n + 1;
     Ppozadovany = data[[n]];
     WakuMax = 3.3 / 6.7 / 4 * EnergieAkumulaceMax;
     EnergiePozadovana = ctvrthodina * Ppozadovany;
     Pdisponibilni = PmaxSjednany - Ppozadovany;
     (*JAKOU ENERGII MUZEME DOBIJET*)

     PmuzuVybit = WakuMax;
     EnergieCoMuzuDobit =
      Min[{Pdisponibilni * ctvrthodina, WakuMax, EnergieAkumulaceMax - Waccu}];

     a = {Pdisponibilni * ctvrthodina, WakuMax, EnergieAkumulaceMax - Waccu};
     (*vybere minimum z mozne dobijene energie, *)
```

```
    If[EnergieCoMuzuDobit > 0,
     (WaccuNew = Min[Waccu + EnergieCoMuzuDobit * ηAccu, EnergieAkumulaceMax];
      WodebranaBaseNew = WodebranaBase +
        Min[{(EnergieCoMuzuDobit + EnergiePozadovana), PmaxSjednany * ctvrthodina}];
      penaleNew = penale + 0;)];
    (*situace, kdy dobijim,OK *)

    If[(EnergieCoMuzuDobit <= 0 && (Ppozadovany <= PmaxSjednany + PmuzuVybit)),
     (WaccuNew = Min[
         {(Waccu - ctvrthodina * (Ppozadovany - PmaxSjednany)), EnergieAkumulaceMax}];
      WodebranaBaseNew = WodebranaBase + Min[{PmaxSjednany * ctvrthodina,
           ctvrthodina * Ppozadovany}];
      penaleNew = penale + 0;(*Print[EnergieCoMuzuDobit,nNew,"aku: ",
         WaccuNew/3600000,"puvodni aku ",Waccu ];*))];
    (*nedobijim, ale dokazu vykon pokryt z nasmlouvaneho a z akumulace,OK*)

    If[(EnergieCoMuzuDobit < 0) && (Ppozadovany > PmaxSjednany + PmuzuVybit),
     (WaccuNew = Waccu - ctvrthodina * PmuzuVybit;
      WodebranaBaseNew = WodebranaBase + ctvrthodina * (Ppozadovany - PmuzuVybit);
      penaleNew = 1 000 000 000 000;)];
    (*situace, kdy aku a sjednany vykon dohromady nepokryji potrebu,
    je penalizovano, NEZADOUCI*)

    (*overeni aby nepouzivla program zapornou hodnotu baterie,
    zaporny vykon nez je mozny a jine blbosti*)
    If[Waccu < 0, (penaleNew = -Waccu * 1 111 111 111 111 111;
      WaccuNew = Waccu;
      WodebranaBaseNew = WodebranaBase + EnergiePozadovana;
     )];
    If[PmaxSjednany < 0, (penaleNew = -PmaxSjednany * 1 111 111 111 111 111;
      WaccuNew = Waccu;
      WodebranaBaseNew = WodebranaBase + EnergiePozadovana;)];
    If[EnergieAkumulaceMax == 0, (WodebranaPeakNew = WodebranaPeak;
      WodebranaBaseNew = WodebranaBase + EnergiePozadovana;
      WaccuNew = Waccu;
      penaleNew = penale;)];



    {nNew, WaccuNew, WodebranaBaseNew, WodebranaPeakNew, penaleNew}
   ];
  (*2.]]
   rozepasna funkce co delat jestli se pohzbujem ve vyssim tarifu*)
  krokPeak[{n_, Waccu_, WodebranaBase_, WodebranaPeak_, penale_}] :=
   Module[{nNew, WaccuNew, WodebranaBaseNew, penaleNew, Ppozadovany,
     WdrzimSchovanou, WakuDisponibilni, Wpozadovana, WodebranaPeakNew,
     PmuzuVybit, WvybMax, MaxWOdebrana, zbyvaPeakN, WakuMax},
    nNew = n + 1;
    Ppozadovany = data[[n]];
    Wpozadovana = Ppozadovany * ctvrthodina;
    WodebranaBaseNew = WodebranaBase;
    WvybMax = 3.3 / 6.7 / 4 * EnergieAkumulaceMax;
    MaxWOdebrana = Max[{muzuDobit2[data, n, PmaxSjednany] * ctvrthodina * ηAccu, 0}];
    WakuDisponibilni =
     Min[{WvybMax, Waccu(*,MaxWOdebrana*), (*Wpozadovana,*)MaxWOdebrana}];
    (*,MaxWOdebrana*)
```

```
  b = {WvybMax, Waccu(*,MaxWOdebrana*), Wpozadovana, MaxWOdebrana};
  If[Wpozadovana ≤ WakuDisponibilni,
   (WaccuNew = Max[{(Waccu - WakuDisponibilni), 0}];
    (*Print["boom",WakuDisponibilni,nNew,"aku: ",
      WaccuNew/3600000,"puvodni aku ",Waccu ];*)
    WodebranaPeakNew = WodebranaPeak; penaleNew = penale;)];
  (*mam-li v aku dost, dam ji z aku*)
  If[(Wpozadovana > WakuDisponibilni) &&
    (Wpozadovana <= ctvrthodina * (PmaxSjednany) + WakuDisponibilni),
   (WaccuNew = Max[{(Waccu - WakuDisponibilni), 0}];
    (*Print[WakuDisponibilni,nNew,"aku: ",WaccuNew/3600000,"puvodni aku ",
      Waccu ];*)WodebranaPeakNew = WodebranaPeak + Wpozadovana - (Waccu - WaccuNew);
    penaleNew = penale;)];
  If[(Wpozadovana > WakuDisponibilni) &&
    (Wpozadovana > ctvrthodina * (PmaxSjednany) + WakuDisponibilni),
   (WodebranaPeakNew = WodebranaPeak + (Wpozadovana - WakuDisponibilni);
    WaccuNew = Max[{(Waccu - WakuDisponibilni), 0}];
    penaleNew = (Wpozadovana - (ctvrthodina * (PmaxSjednany) + WakuDisponibilni)) *
      10 000 000 000 000;)];
  (*pro pripad, co by nemal nastat, s penale*)
  If[EnergieAkumulaceMax == 0, (WodebranaPeakNew = WodebranaPeak + Wpozadovana;
    WodebranaBaseNew = WodebranaBase;
    WaccuNew = Waccu;
    penaleNew = penale;)];

  {nNew, WaccuNew, WodebranaBaseNew, WodebranaPeakNew, penaleNew}
 ];
krok[stav : {n_, Waccu_, WodebranaBase_, WodebranaPeak_, penale_}] :=
 If[base[n], krokBase[stav], krokPeak[stav]];
(*rozlisuje jestli to je nizzsi nebo vyssi tarif a pote vzhodnocuje *)
pocatek = {1, EnergieAkumulaceMax, 0, 0, penaleStart};
(*pocatecni hodnota pro vypocet, zacinam s nabitou baterii*)

prubehNabijeni = NestList[krok, pocatek, 95];
WpeakEnd = Last[prubehNabijeni][[4]];
WbaseEnd = Last[prubehNabijeni][[3]];
penaleEnd = Last[prubehNabijeni][[5]];
maxPrikon = Max[{Differences[prubehNabijeni[[4]]],
    Differences[prubehNabijeni[[3]]]}] / ctvrthodina;

cenaVT = cena1JoulePeak * WpeakEnd;
cenaNT = cena1JouleBase * WbaseEnd;
cenaPrikon = cenazaPrikon[PmaxSjednany] * 1 / 30;
cenaBaterieJ = EnergieAkumulaceMax * 96/dobaZivota * cenaJoule;
cenaSystem = 0;

cenaEnergie = cena1JoulePeak * WpeakEnd +
  cena1JouleBase * WbaseEnd + cenazaPrikon[PmaxSjednany] * 1 / 30 +
  EnergieAkumulaceMax * 96/dobaZivota * cenaJoule + penaleEnd;

(*vypocet NPV*)
(*usetreno - za 52 tydnu,
prvni cast je o vsednich dnech (52*5/2) druha je ovikendech (52)*)
If[dopocet == False, (usetreno =
```

```
        (cenaLetDenBB - (cena[{PmaxSjednany, EnergieAkumulaceMax, prumVsedLetDen,
                  True, diskont}][[2]] - cena[{PmaxSjednany, EnergieAkumulaceMax,
                  prumVsedLetDen, True, diskont}][[6]]) + cenaZimDenBB -
              (cena[{PmaxSjednany, EnergieAkumulaceMax, prumVsedZimDen, True, diskont}][[
                 2]] - cena[{PmaxSjednany, EnergieAkumulaceMax,
                  prumVsedZimDen, True, diskont}][[6]])) * 52 * 5 / 2 +
         (cenaZimVikendBB - (cena[{PmaxSjednany, EnergieAkumulaceMax, prumZimVikend,
                  True, diskont}][[2]] - cena[{PmaxSjednany, EnergieAkumulaceMax,
                  prumZimVikend, True, diskont}][[6]]) + cenaLetVikendBB -
              (cena[{PmaxSjednany, EnergieAkumulaceMax, prumLetVikend, True, diskont}][[
                 2]] - cena[{PmaxSjednany, EnergieAkumulaceMax,
                  prumLetVikend, True, diskont}][[6]])) * 52 * 2 / 2;
      cashFlow = Cashflow[{Join[{-cenaJoule * EnergieAkumulaceMax},
            ConstantArray[usetreno, 10]]}[[1]]]; (* cashflow  za dobu projektu*)
      NPV = -N[TimeValue[cashFlow, diskont, 0], 8];)
      (*cenaList={cenaEnergie,cenaNT,cenaVT,cenaPrikon,cenaBaterieJ,cenaSystem};*)];
    vystup = {prubehNabijeni, cenaEnergie, cenaNT, cenaVT, cenaPrikon,
      cenaBaterieJ, penaleEnd, cashFlow, N[NPV, 10], usetreno}];
```

```
In[84]:= Clear[mycena, minimum, PmaxOdebirany, BaterieMin]
cenaJoule = 7000 * 25.92 / (14 000 * 3600) * 1
mycena[PmaxOdber1_?NumericQ, Baterie_?NumericQ] :=
 cena[{PmaxOdber1, Baterie, prumVsedZimDen, False, 0.05}][[9]]
(*minimum=NMinimize[{mycena[PmaxOdber1,Baterie],200000>PmaxOdber1>100000,
   10000000000>Baterie>0},{PmaxOdber1,Baterie}]*)
minimum = FindMinimum[{mycena[PmaxOdber1, Baterie]},
  {{PmaxOdber1, 200 000.}, {Baterie, 10 000 000}}, Method -> "PrincipalAxis"]
minimumHodnoty = minimum[[2]];

PmaxOdebirany = PmaxOdber1 /. minimumHodnoty;
(*BaterieMin=PmaxUvazovany*10*hodina;*)
BaterieMin = (Baterie /. minimumHodnoty);
minimumPrubeh =
  cena[{PmaxOdebirany, BaterieMin, prumVsedZimDen, False, 0.05}][[1]];
cenaRozbor = cena[{PmaxOdebirany, BaterieMin, prumVsedZimDen, False, 0.05}]


(* samotny graf *)
```

Out[85]= 0.0036

Out[87]= $\{-402\,389., \{\text{PmaxOdber1} \to 155\,104., \text{Baterie} \to 3.67666 \times 10^8\}\}$

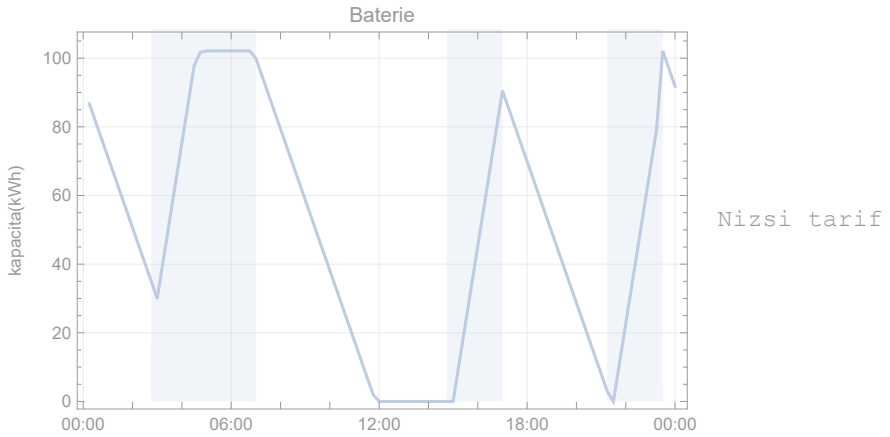
Out[92]= $\{\{\{1, 3.67666 \times 10^8, 0, 0, 0\}, \{2, 3.49119 \times 10^8, 0, 5.03381 \times 10^7, 0\}, \{3, 3.30573 \times 10^8, 0, 1.02518 \times 10^8, 0\}, \{4, 3.12026 \times 10^8, 0, 1.5341 \times 10^8, 0\}, \{5, 2.9348 \times 10^8, 0, 2.03886 \times 10^8, 0\}, \{6, 2.74933 \times 10^8, 0, 2.4816 \times 10^8, 0\}, \{7, 2.56387 \times 10^8, 0, 2.93319 \times 10^8, 0\}, \{8, 2.3784 \times 10^8, 0, 3.45679 \times 10^8, 0\}, \{9, 2.19294 \times 10^8, 0, 3.97235 \times 10^8, 0\}, \{10, 2.00747 \times 10^8, 0, 4.44929 \times 10^8, 0\}, \{11, 1.82201 \times 10^8, 0, 4.87721 \times 10^8, 0\}, \{12, 1.63654 \times 10^8, 0, 5.36176 \times 10^8, 0\}, \{13, 1.45107 \times 10^8, 0, 5.93824 \times 10^8, 0\}, \{14, 1.26561 \times 10^8, 0, 6.48593 \times 10^8, 0\}, \{15, 1.08014 \times 10^8, 0, 6.95899 \times 10^8, 0\},$

$\{16, 1.48759\times10^{8}, 1.08037\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{17, 1.89504\times10^{8}, 2.23052\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{18, 2.3025\times10^{8}, 3.39577\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{19, 2.70995\times10^{8}, 4.50798\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{20, 3.1174\times10^{8}, 5.61978\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{21, 3.52485\times10^{8}, 6.75\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{22, 3.66148\times10^{8}, 7.63746\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{23, 3.67514\times10^{8}, 8.40144\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{24, 3.67651\times10^{8}, 9.1699\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{25, 3.67665\times10^{8}, 9.96246\times10^{8}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{26, 3.67666\times10^{8}, 1.08157\times10^{9}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{27, 3.67666\times10^{8}, 1.1653\times10^{9}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{28, 3.67666\times10^{8}, 1.24855\times10^{9}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{29, 3.67666\times10^{8}, 1.36245\times10^{9}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{30, 3.67666\times10^{8}, 1.47715\times10^{9}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{31, 3.59965\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 6.95899\times10^{8}, 0\}$,
$\{32, 3.41418\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 8.34271\times10^{8}, 0\}$,
$\{33, 3.22871\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 9.63698\times10^{8}, 0\}$,
$\{34, 3.04325\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 1.09074\times10^{9}, 0\}$,
$\{35, 2.85778\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 1.21966\times10^{9}, 0\}$,
$\{36, 2.67232\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 1.3451\times10^{9}, 0\}$,
$\{37, 2.48685\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 1.46357\times10^{9}, 0\}$,
$\{38, 2.30139\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 1.55919\times10^{9}, 0\}$,
$\{39, 2.11592\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 1.66612\times10^{9}, 0\}$,
$\{40, 1.93046\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 1.78274\times10^{9}, 0\}$,
$\{41, 1.74499\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 1.89466\times10^{9}, 0\}$,
$\{42, 1.55952\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 2.00261\times10^{9}, 0\}$,
$\{43, 1.37406\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 2.1134\times10^{9}, 0\}$,
$\{44, 1.18859\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 2.23013\times10^{9}, 0\}$,
$\{45, 1.00313\times10^{8}, 1.61675\times10^{9}, 2.35016\times10^{9}, 0\}$,
$\{46, 8.17662\times10^{7}, 1.61675\times10^{9}, 2.46229\times10^{9}, 0\}$,
$\{47, 6.32197\times10^{7}, 1.61675\times10^{9}, 2.57294\times10^{9}, 0\}$,
$\{48, 4.46731\times10^{7}, 1.61675\times10^{9}, 2.68189\times10^{9}, 0\}$,
$\{49, 2.61266\times10^{7}, 1.61675\times10^{9}, 2.78744\times10^{9}, 0\}$,
$\{50, 7.58003\times10^{6}, 1.61675\times10^{9}, 2.88523\times10^{9}, 0\}$,
$\{51, 0., 1.61675\times10^{9}, 2.97868\times10^{9}, 0\}$,
$\{52, 0., 1.61675\times10^{9}, 3.08459\times10^{9}, 0\}$, $\{53, 0., 1.61675\times10^{9}, 3.196\times10^{9}, 0\}$,
$\{54, 0., 1.61675\times10^{9}, 3.31308\times10^{9}, 0\}$, $\{55, 0., 1.61675\times10^{9}, 3.43758\times10^{9}, 0\}$,
$\{56, 0., 1.61675\times10^{9}, 3.56594\times10^{9}, 0\}$, $\{57, 0., 1.61675\times10^{9}, 3.69012\times10^{9}, 0\}$,
$\{58, 0., 1.61675\times10^{9}, 3.80491\times10^{9}, 0\}$, $\{59, 0., 1.61675\times10^{9}, 3.91608\times10^{9}, 0\}$,
$\{60, 0., 1.61675\times10^{9}, 4.02364\times10^{9}, 0\}$, $\{61, 0., 1.61675\times10^{9}, 4.12714\times10^{9}, 0\}$,
$\{62, 0., 1.61675\times10^{9}, 4.22229\times10^{9}, 0\}$, $\{63, 0., 1.61675\times10^{9}, 4.30218\times10^{9}, 0\}$,
$\{64, 4.07451\times10^{7}, 1.74284\times10^{9}, 4.30218\times10^{9}, 0\}$,
$\{65, 8.14902\times10^{7}, 1.86352\times10^{9}, 4.30218\times10^{9}, 0\}$,

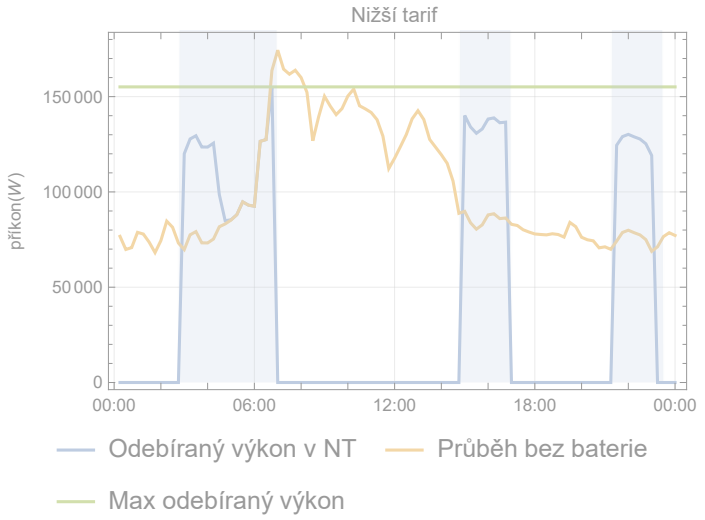
```
 {66, 1.22235×10^8, 1.98121×10^9, 4.30218×10^9, 0},
 {67, 1.6298×10^8, 2.10093×10^9, 4.30218×10^9, 0},
 {68, 2.03725×10^8, 2.22535×10^9, 4.30218×10^9, 0},
 {69, 2.4447×10^8, 2.3503×10^9, 4.30218×10^9, 0},
 {70, 2.85216×10^8, 2.47297×10^9, 4.30218×10^9, 0},
 {71, 3.25961×10^8, 2.59592×10^9, 4.30218×10^9, 0},
 {72, 3.07414×10^8, 2.59592×10^9, 4.35833×10^9, 0},
 {73, 2.88868×10^8, 2.59592×10^9, 4.41393×10^9, 0},
 {74, 2.70321×10^8, 2.59592×10^9, 4.46751×10^9, 0},
 {75, 2.51774×10^8, 2.59592×10^9, 4.52002×10^9, 0},
 {76, 2.33228×10^8, 2.59592×10^9, 4.57162×10^9, 0},
 {77, 2.14681×10^8, 2.59592×10^9, 4.62297×10^9, 0},
 {78, 1.96135×10^8, 2.59592×10^9, 4.67414×10^9, 0},
 {79, 1.77588×10^8, 2.59592×10^9, 4.72583×10^9, 0},
 {80, 1.59042×10^8, 2.59592×10^9, 4.77717×10^9, 0},
 {81, 1.40495×10^8, 2.59592×10^9, 4.82728×10^9, 0},
 {82, 1.21949×10^8, 2.59592×10^9, 4.88432×10^9, 0},
 {83, 1.03402×10^8, 2.59592×10^9, 4.93937×10^9, 0},
 {84, 8.48555×10^7, 2.59592×10^9, 4.98942×10^9, 0},
 {85, 6.63089×10^7, 2.59592×10^9, 5.03827×10^9, 0},
 {86, 4.77624×10^7, 2.59592×10^9, 5.08663×10^9, 0},
 {87, 2.92158×10^7, 2.59592×10^9, 5.13168×10^9, 0},
 {88, 1.06693×10^7, 2.59592×10^9, 5.1772×10^9, 0},
 {89, 0., 2.59592×10^9, 5.22943×10^9, 0},
 {90, 4.07451×10^7, 2.70795×10^9, 5.22943×10^9, 0},
 {91, 8.14902×10^7, 2.82407×10^9, 5.22943×10^9, 0},
 {92, 1.22235×10^8, 2.94125×10^9, 5.22943×10^9, 0},
 {93, 1.6298×10^8, 3.05726×10^9, 5.22943×10^9, 0},
 {94, 2.03725×10^8, 3.17223×10^9, 5.22943×10^9, 0},
 {95, 2.4447×10^8, 3.28498×10^9, 5.22943×10^9, 0},
 {96, 2.85216×10^8, 3.3922×10^9, 5.22943×10^9, 0}},
6360.8, 1018.42, 4874.25, 105.496, 362.63, 0,
Cashflow[{-1.3236×10^6, 223523., 223523., 223523., 223523., 223523.,
  223523., 223523., 223523., 223523., 223523.}], -402389., 223523.}
```

```
sablona2 = Boole[RotateLeft[sablonaDen, 3]];
(* posunuti vysledu na puvodni cas*)
tarify = DateListPlot[{Transpose[{denCtvrthodiny, sablona2 * 1 000 000}]},
  Filling → Axis, PlotLabel → "Baterie", FrameLabel → kapacita [kWh],
  GridLines → Automatic, FillingStyle → Automatic,
  PlotStyle → Opacity[0.01], PlotLegends → "Nizsi tarif"];
pl1 = DateListPlot[{Transpose[{denCtvrthodiny,
      RotateLeft[minimumPrubeh[[All, 2]] / 3 600 000, 3]}]}, Joined → True,
   PlotLabel → "Baterie", FrameLabel → kapacita [kWh], GridLines → Automatic];
pl2 = DateListPlot[{Transpose[{denCtvrthodiny, RotateLeft[Differences[Join[
          {minimumPrubeh[[1, 3]]}, minimumPrubeh[[All, 3]]] / ctvrthodina], 4]}],
    Transpose[{denCtvrthodiny, RotateLeft[prumVsedZimDen, 3]}], Transpose[
     {denCtvrthodiny, RotateLeft[ConstantArray[PmaxOdebirany, 96], 3]}]},
   PlotLabel → "Nižší tarif ", AxesLabel → {t[15 min], e[W]},
   GridLines → Automatic,
   PlotLegends → Placed[{"Odebíraný výkon v NT ", "Průběh bez baterie",
      "Max odebíraný výkon"}, Bottom], FrameLabel → příkon [W]];
pl3 = DateListPlot[{Transpose[{denCtvrthodiny, RotateLeft[Differences[Join[
          {minimumPrubeh[[1, 4]]}, minimumPrubeh[[All, 4]]] / ctvrthodina], 4]}],
    Transpose[{denCtvrthodiny, RotateLeft[prumVsedZimDen, 3]}], Transpose[
     {denCtvrthodiny, RotateLeft[ConstantArray[PmaxOdebirany, 96], 3]}]},
   Joined → True, PlotLabel → "Vyšší tarif ",
   AxesLabel → {t[15 min], e[W]}, GridLines → Automatic,
   PlotLegends → Placed[{"Odebíraný výkon v VT ", "Průběh bez baterie",
      "Max odebíraný výkon"}, Bottom], FrameLabel -> příkon [W]];

pl4 = ListPlot[minimumPrubeh[[All, 5]], Joined → True, PlotLabel → "Penale"];

Show[pl1, tarify]
Show[pl2, tarify]
Show[pl3, tarify]
```

Out[99]=

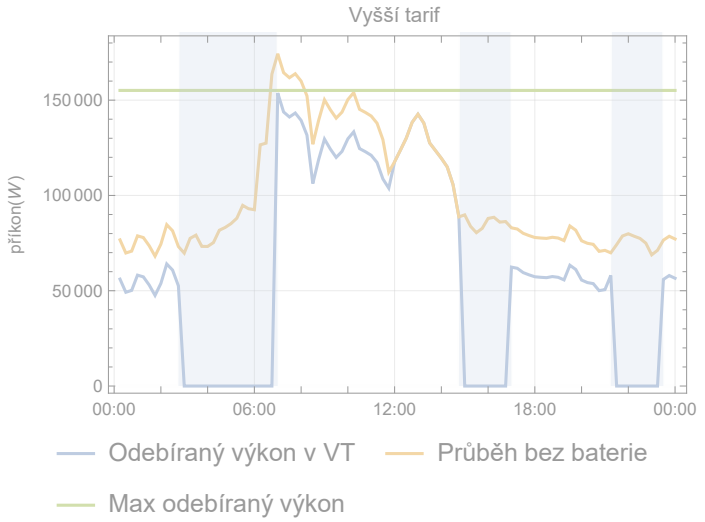


Out[100]=



Nizsi tarif

Out[101]=



Nizsi tarif

```
Print["Cena za NT : ", cenaRozbor[[3]]]
Print["Cena za VT : ", cenaRozbor[[4]]]
Print["Cena za jistic : ", cenaRozbor[[5]]]
Print["Cena za baterii : ", cenaRozbor[[6]]]
Print["Cena celkem : ", cenaRozbor[[2]]]
```

```
Cena za NT : 1018.42

Cena za VT : 4874.25

Cena za jistic : 105.496

Cena za baterii : 362.63

Cena celkem : 6360.8
```

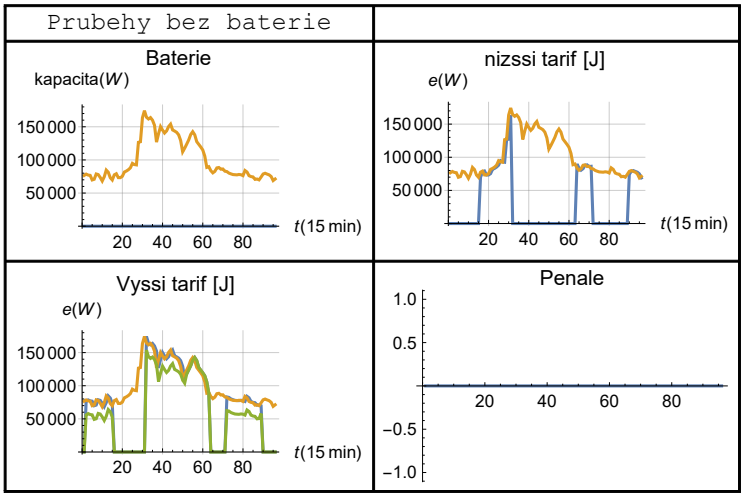
```
(*vykresleni ceny pri zmene kapacitz
 baterie a delsi doba trvani pro vykresleni*)


(*grafMinim2=Plot3D[cena[{maxPrikon,Baterie,prumVsedZimDen,False,0.05}][[9]],
  {maxPrikon,150000,200000},{Baterie,10000,1000000000},
  PlotRange→{Automatic,0}]*)

(*Plot3D[cena[{maxPrikon,Baterie,prumVsedZimDen,False,0.03}][[9]],
 {maxPrikon,150000,200000},{Baterie,100000,1000000000},
 PlotRange→{Automatic,30000}]*)


(*Show[grafMinim2,AxesLabel→{Style["Max. prikon [W]",Bold,Black],
    Style["Kapacita baterie[J]",Bold,Black],Style["NPV[Kc]",Bold,Black]}]
 Show[grafMinim2,PlotRange→All]*)
```

In[135]:=

```
(*prubeh bez baterie *)
BezBaterieCena = cena[{PmaxOdber, 0, prumVsedZimDen, True, 0.05}];
Print["Cena za NT : ", BezBaterieCena[[3]]]
Print["Cena za VT : ", BezBaterieCena[[4]]]
Print["Cena za jistic : ", BezBaterieCena[[5]]]
Print["Cena za baterii : ", BezBaterieCena[[6]]]
Print["Cena za bateriovy system : ", BezBaterieCena[[7]]]
Print["Cena celkem : ", BezBaterieCena[[2]] - BezBaterieCena[[7]]]


p1 = ListPlot[{BezBaterieCena[[1, All]][[All, 2]] / 3600, prumVsedZimDen},
   Joined → True, PlotLabel → "Baterie",
   AxesLabel → {t[15 min], kapacita[W]}, GridLines → Automatic];
p2 = ListPlot[{Join[{0}, Differences[BezBaterieCena[[1, All]][[All, 3]]] /
      ctvrthodina], prumVsedZimDen}, Joined → True,
   PlotLabel → "nizssi tarif [J]", AxesLabel → {t[15 min], e[W]},
   GridLines → Automatic(*PlotLegends→
    {"Odebirany vykon v NT ","Prubeh bez baterie","MaxOdebirana energie"}*)];
p3 = ListPlot[{Join[{0}, Differences[BezBaterieCena[[1, All]][[All, 4]]] /
      ctvrthodina], prumVsedZimDen,
    Join[{0}, Differences[minimumPrubeh[[All, 4]]] / ctvrthodina]},
   Joined → True, PlotLabel → "Vyssi tarif [J] ",
   AxesLabel → {t[15 min], e[W]}, GridLines → Automatic(*,PlotLegends→
    {"Odebirany vykon v VT","Prubeh bez baterie","MaxOdebirana energie"}*)];
p4 = ListPlot[BezBaterieCena[[1, All]][[All, 5]],
   Joined → True, PlotLabel → "Penale"];
Grid[{{"Prubehy bez baterie", ""}, {p1, p2}, {p3, p4}}, Frame → All]
```

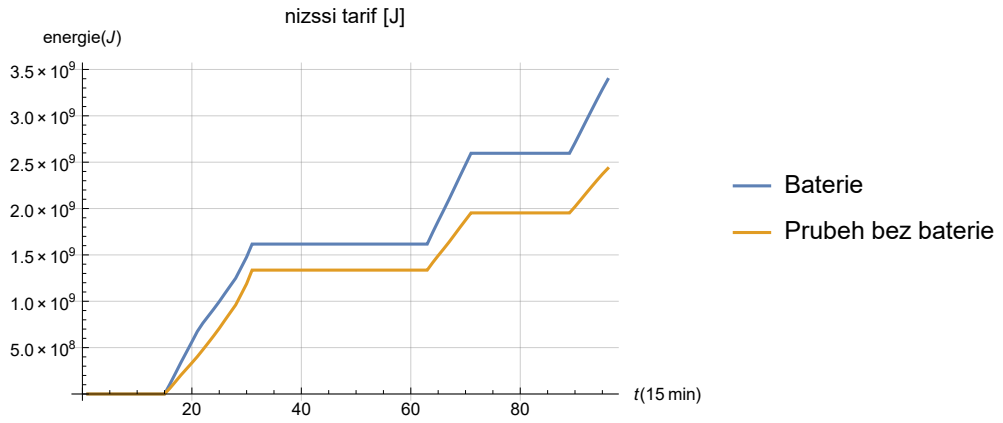
```
Cena za NT : 730.241

Cena za VT : 5755.61

Cena za jistic : 194.526

Cena za baterii : 0.

Cena za bateriovy system : 0

Cena celkem : 6680.37
```

Out[146]=

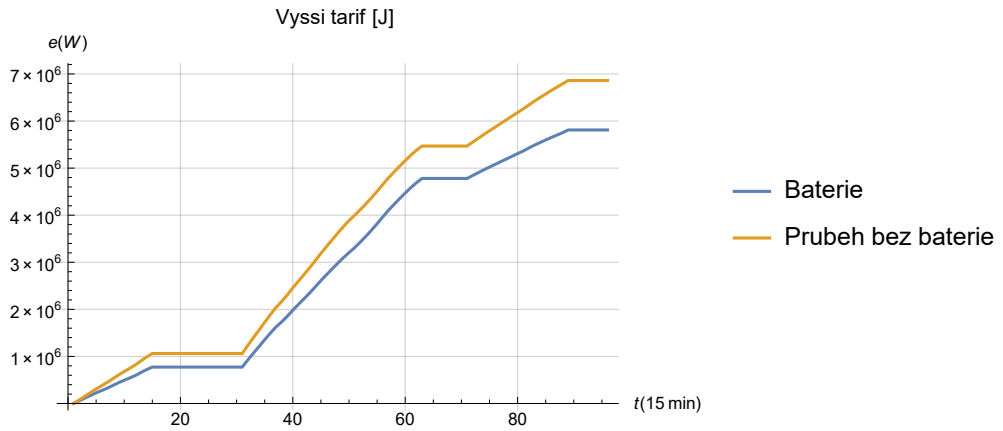


```
(*porovnavani grafu*)

ListPlot[{minimumPrubeh[[All, 3]], BezBaterieCena[[1, All]][[All, 3]]},
 Joined → True, PlotLabel → "nizssi tarif [J]",
 AxesLabel → {t[15 min], energie[J]}, GridLines → Automatic,
 PlotLegends → {"Baterie ", "Prubeh bez baterie"}]
ListPlot[{minimumPrubeh[[All, 4]] / ctvrthodina,
  BezBaterieCena[[1, All]][[All, 4]] / ctvrthodina}, Joined → True,
 PlotLabel → "Vyssi tarif [J] ", AxesLabel → {t[15 min], e[W]},
 GridLines → Automatic, PlotLegends → {"Baterie", "Prubeh bez baterie"}]
```

Out[121]=



Out[122]=



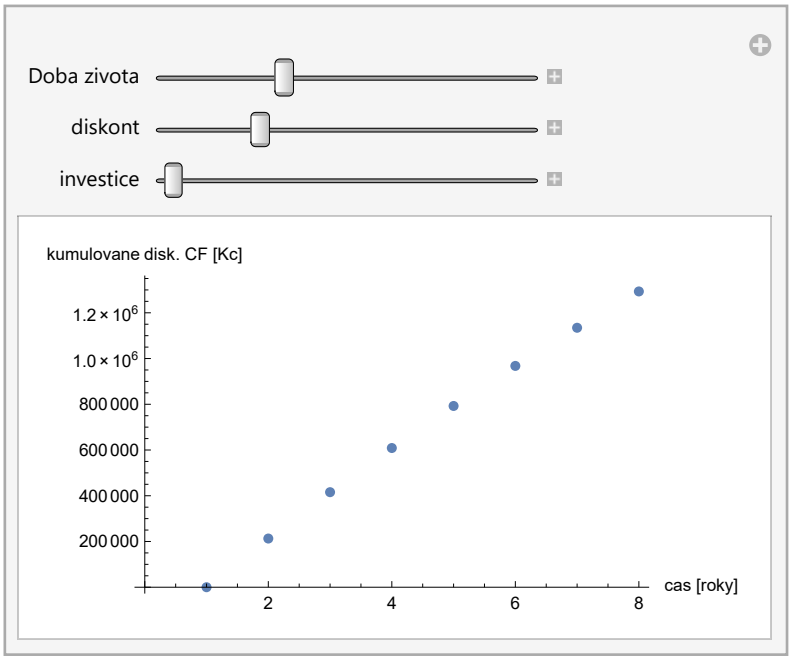
Porovnani jednotlivych dnu

In[155]:=
```
dobaZivotaBaterie = 10;
UsetrenoRocne = cenaRozbor[[10]];
(*NPV*)
diskont = 0.05;
baterieInvestice = cenaJoule * BaterieMin;
cashFlow = Cashflow[{Join[{-baterieInvestice},
     ConstantArray[UsetrenoRocne, dobaZivotaBaterie]]}[[1]]];
(* cashflow  za dobu projektu*)
NPV = TimeValue[cashFlow, diskont, 0];
(*IRR*)
IRR = FindRoot[ TimeValue[cashFlow, r, 0] == 0, {r, .05}];
Print["NPV je : ", NPV, " KC a IRR je : ", Round[((r /. IRR) * 100), 0.05],
 " pro dobu zivota : ", dobaZivotaBaterie, " let"]
```

```
NPV je : 402389. KC a IRR je : 10.85 pro dobu zivota : 10 let
```

In[162]:=
```
cashFlowMan[investice_, doba_] :=
 Cashflow[{Join[{-investice}, ConstantArray[UsetrenoRocne, doba]]}[[1]]]
```

```
cashFlowMan[investice_, doba_] :=
 Cashflow[{Join[{-investice}, ConstantArray[UsetrenoRocne, doba]]}[[1]]]
Manipulate[ListPlot[Table[TimeValue[cashFlowMan[investice, x], diskont, 0],
   {x, 0, nZivota, 1}], AxesLabel → {"cas [roky]", "kumulovane disk. CF [Kc]"}],
 {{nZivota, 10, "Doba zivota"}, 1, 20, Appearance → Labeled},
 {{diskont, 0.05, "diskont"}, 0, 0.20}, {{investice, 0, "investice"}, 0, 800 000}]
```



In[163]:=
```
(*citlivostni analyza*)
cenaJoule = 7000 * 25.92 / (14 000 * 3600);
citAn = ConstantArray[0, 5]; (*uloziste pro jednotlive cenove varianty*)
snizeniCeny = cenaJoule / 5;
cenaJoule = cenaJoule + snizeniCeny;
i = 1
For[k = 1, k < 6, k++, (cenaJoule = cenaJoule - snizeniCeny;
  minimum = FindMinimum[{mycena[PmaxOdber1, Baterie]},
    {{PmaxOdber1, 200 000.}, {Baterie, 10 000 000.}}, Method -> "PrincipalAxis"];
  minimumHodnoty = minimum[[2]];
  Print[minimumHodnoty];
  PmaxOdebirany = PmaxOdber1 /. minimumHodnoty;
  BaterieMin = (Baterie /. minimumHodnoty);
  citAn[[k]] = cena[{PmaxOdebirany, BaterieMin, prumVsedZimDen, False, 0.05}])]
cenaJoule = 7000 * 25.92 / (14 000 * 3600);
```

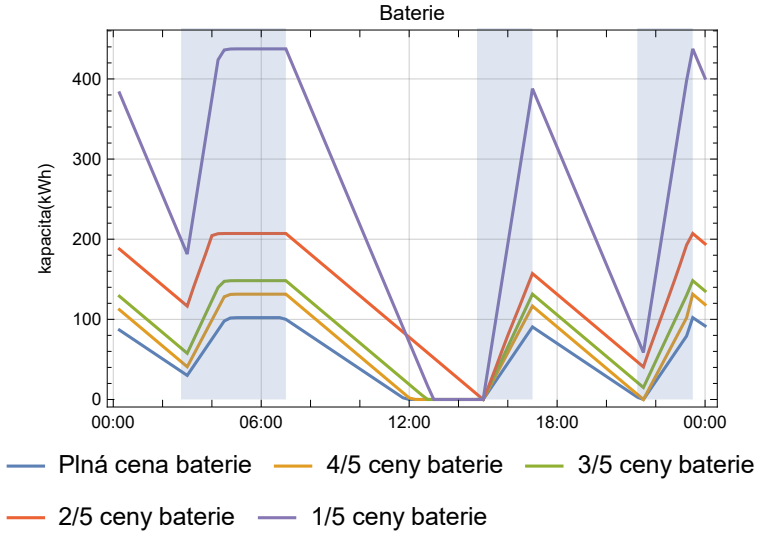
Out[167]= 1

```
{PmaxOdber1 → 155 104., Baterie → 3.67666 × 10^8}
{PmaxOdber1 → 172 986., Baterie → 4.73111 × 10^8}
{PmaxOdber1 → 172 986., Baterie → 5.3377 × 10^8}
{PmaxOdber1 → 172 986., Baterie → 7.4568 × 10^8}
{PmaxOdber1 → 330 578., Baterie → 1.57503 × 10^9}
```

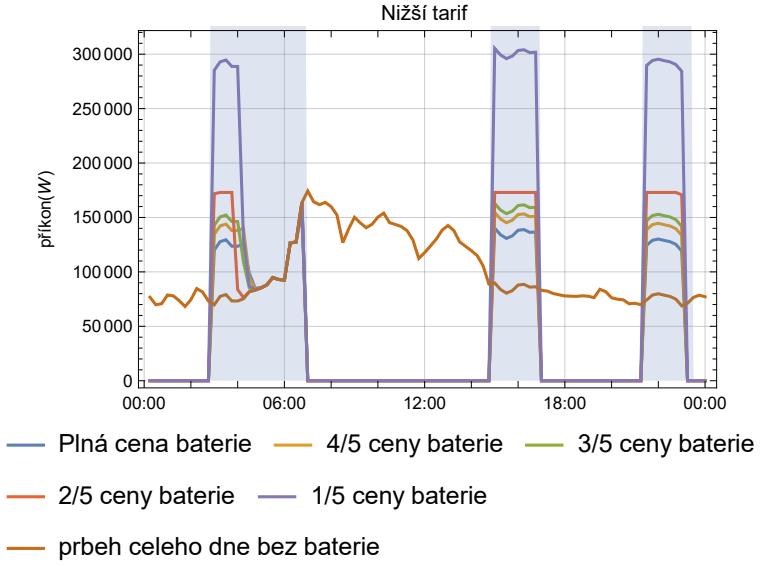
In[170]:=
```
BaterieAll = ConstantArray[0, 5];
NTAll = ConstantArray[0, 5];
VTAll = ConstantArray[0, 5];
cashFlowAll = citAn[[All, 8]];
NPVAll = citAn[[All, 9]];
IRRAll = Table[
   FindRoot[ TimeValue[cashFlowAll[[x, All]], r, 0] == 0, {r, .05}], {x, 1, 5}];

For[i = 1, i < 6, i++,
  BaterieAll[[i]] = citAn[[All, 1]][[i, All]][[All, 2]] / 3 600 000];
For[i = 1, i < 6, i++, NTAll[[i]] =
   Differences[citAn[[All, 1]][[i, All]][[All, 3]]] / ctvrthodina];
For[i = 1, i < 6, i++, VTAll[[i]] =
   Differences[citAn[[All, 1]][[i, All]][[All, 4]]] / ctvrthodina];
For[i = 1, i < 6, i++, cashFlowAll[[i]] = citAn[[i]][[8]]];


tarify = DateListPlot[{Transpose[{denCtvrthodiny, sablona2 * 1 000 000}]},
   Filling → Axis, PlotLabel → "Baterie", FrameLabel → kapacita [kWh],
   GridLines → Automatic, FillingStyle → Automatic, PlotStyle → Opacity[0.01]];
prubehNT = Table[Transpose[{denCtvrthodiny,
     RotateLeft[Join[{NTAll[[1, 3]]}, NTAll[[x, All]]], 4]}], {x, 1, 5}];
prubehVT = Table[Transpose[{denCtvrthodiny,
     RotateLeft[Join[{VTAll[[1, 1]]}, VTAll[[x, All]]], 4]}], {x, 1, 5}];
prubehPrumDen = Transpose[{denCtvrthodiny, RotateLeft[prumVsedZimDen, 3]}];

pl1 = DateListPlot[
   Table[Transpose[{denCtvrthodiny, RotateLeft[BaterieAll[[x, All]], 3]}],
    {x, 1, 5}], Joined → True, PlotLabel → "Baterie",
   FrameLabel → kapacita [kWh], GridLines → Automatic, PlotLegends →
    Placed[{"Plná cena baterie", "4/5 ceny baterie", "3/5 ceny baterie",
      "2/5 ceny baterie", "1/5 ceny baterie"}, Bottom], PlotRange -> All];


pl2 = DateListPlot[Append[prubehNT, prubehPrumDen],
   Transpose[{denCtvrthodiny, RotateLeft[prumVsedZimDen, 3]}],
   PlotLabel → "Nižší tarif ", AxesLabel → {t[15 min], e[W]},
   GridLines → Automatic, PlotLegends →
    Placed[{"Plná cena baterie", "4/5 ceny baterie", "3/5 ceny baterie",
      "2/5 ceny baterie", "1/5 ceny baterie", "prbeh celeho dne bez baterie"},
     Bottom], FrameLabel → příkon [W], PlotRange -> All];

pl3 = DateListPlot[Append[prubehVT, prubehPrumDen], PlotLabel → "Vyssi tarif ",
   AxesLabel → {t[15 min], e[W]}, GridLines → Automatic, PlotLegends →
    Placed[{"Plna cena baterie", "4/5 ceny baterie", "3/5 ceny baterie",
```

```
      "2/5 ceny baterie", "1/5 ceny baterie", "prubeh celeho dne bez baterie"},
     Bottom], FrameLabel → prikon [W], PlotRange -> All];
pl4 = DateListPlot[Transpose[{denCtvrthodiny, RotateLeft[prumVsedZimDen, 3]}],
   PlotLegends → Placed[{"prubeh celeho dne bez baterie"}, Bottom]];

ListPlot[BaterieAll, Joined -> True,
  PlotLegends → Automatic, PlotRange → All, GridLines -> Automatic];
ListPlot[NTAll, Joined -> True, PlotLegends → Automatic,
  PlotRange → All, GridLines -> Automatic];
ListPlot[VTAll, Joined -> True];

Show[pl1, tarify]
Show[pl2, tarify]
Show[pl3, tarify]
```

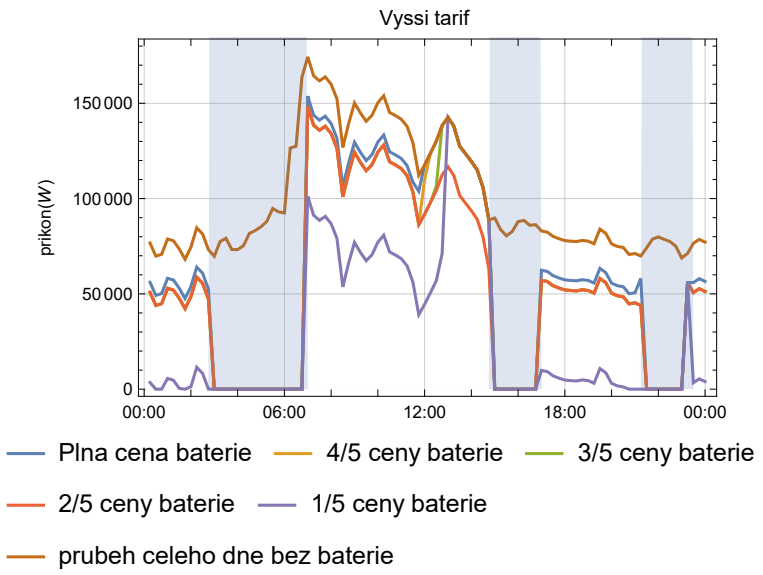
Out[191]=



Out[192]=



Out[193]=




```
IRR2 =
  Table[FindRoot[ TimeValue[cashFlowAll[[z]], r, 0] == 0, {r, .05}], {z, 1, 5}];
investice = Table[cashFlowAll[[z]][[1, 1]], {z, 1, 5}];
usetreno = Table[cashFlowAll[[z]][[1, 2]], {z, 1, 5}];
```

In[219]:=
```
Grid[{{"Cena baterie", "Plna cena", "4/5", "3/5", "2/5", "1/5"},
  Prepend[BaterieAll[[All, 1]], "kapacita baterie [kWh]"],
  Prepend[-NPVAll, "NPV [Kc]"], Prepend[(r /. IRR2) * 100, "IRR [%]"],
  Prepend[-investice, "investice do bateriovehо systemu [Kc]"],
  Prepend[usetreno, "usetreno za rok [Kc]"]}, Frame -> All]
```

Out[219]=

Cena baterie	Plna cena	4/5	3/5	2/5	1/5
kapacita baterie [kWh]	102.129	131.42	148.269	207.133	437.508
NPV [Kc]	402 389.	687 055.	1.04613×10^6	1.52372×10^6	2.72031×10^6
IRR [%]	10.8698	14.412	21.0422	28.8425	42.7649
investice do bateriovehо systemu [Kc]	1.3236×10^6	1.36256×10^6	1.15294×10^6	1.07378×10^6	1.13402×10^6
usetreno za rok [Kc]	223 523.	265 435.	284 790.	336 388.	499 154.