

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Možnosti akumulace energie pro nízkoenergetické domy

**Vedoucí práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.
Autor: Tomáš Bílý**

2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš BÍLÝ**
Osobní číslo: **E10N0087P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Možnosti akumulace energie pro nízkoenergetické domy**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište zásady fungování nízkoenergetických domů.
2. Teoreticky rozeberte možnosti akumulace energie.
3. Navrhněte praktický systém akumulace energie pro nízkoenergetický dům.
4. Navržený systém zhodnoťte z hlediska energetického, ekonomického a environmentálního.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. Poulek, Libra : Solární systémy

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 17. října 2011
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2012

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná diplomová práce se zaměřuje na prozkoumání alternativních způsobů akumulace elektrické energie pro nízkoenergetické rodinné domy. Poskytuje přehled informací o nízkoenergetických domech a jejich přednostech, zároveň se zaměřuje na poskytnutí informací o různých možnostech akumulace energie, elektrické i tepelné. V neposlední řadě je zde popsáno několik možných druhů akumulace elektrické energie a jejich ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

Nízkoenergetický dům, akumulace energie, akumulátory, spotřeba tepla, rekuperace vzduchu, potenciální energie

Abstract

This submitted thesis aims to explore some alternative ways of electrical energy accumulation for low energy houses. It provides an overview about low energy houses and their qualities and also points out information about different ways of energy accumulation either electrical or thermal. Last but not least this thesis describes some possible ways of electrical energy accumulation and their economical classification.

Key words

Low energy house, energy accumulation, accumulator, heat consumption, air recuperation, potential energy

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 7.5.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce, Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D., za rady a vedení při přípravě této práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ	10
1 NÍZKOENERGETICKÉ DOMY	11
1.1 ZÁSADY, ZNAKY A PRINCIPY ND	11
1.1.1 Zásady pro výstavbu ND	11
1.1.2 Architektonické znaky nízkoenergetických domů	12
1.2 KONSTRUKCE ND	13
1.3 ENERGETICKÁ BILANCE	14
1.4 EKONOMIKA ND VS. KLASICKÁ STAVBA	15
2 AKUMULACE ENERGIE	17
2.1 VLIV NA PŘENOSOVOU SÍŤ	17
2.2 INTELIGENTNÍ SÍTĚ SMART GRID	19
2.3 ZPŮSOBY USKLADŇOVÁNÍ ENERGIE	19
2.4 VYBRANÉ PERSPEKTIVNÍ ZPŮSOBY AKUMULACE ENERGIE	20
2.4.1 Elektrochemické akumulátory	21
2.4.2 Superkapacitory	22
2.4.3 Stlačování vzduchu do podzemí	23
2.4.4 Setrvačnický	25
2.4.5 Využití vodíku	26
2.5 AKUMULACE CITELNÉHO TEPLA	28
2.6 AKUMULACE LATENTNÍHO TEPLA	28
2.7 ABSORPCE VZDUŠNÉ VLHKOSTI	29
3 NÁVRH AKUMULACE ENERGIE PRO NÍZKOENERGETICKÝ DŮM	30
3.1 SITUAČNÍ POPIS OBJEKTU	30
3.2 NÁVRH SYSTÉMU AKUMULACE	31
3.3 VYUŽITÍ POTENCIÁLNÍ ENERGIE HMOTNÉHO TĚLESA	34
3.3.1 Výpočet a návrh	34
3.4 VYUŽITÍ POTENCIÁLNÍ ENERGIE VODY	38
3.5 VYUŽITÍ PŘÍMÉ AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE POMOCÍ ELEKTROCHEMICKÝCH AKUMULÁTORŮ	41
3.5.1 Výpočet	42
4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	43
4.1 INVESTIČNÍ A PROVOZNÍ NÁKLADY	43
4.1.1 Varianta využití potenciální energie vody	43
4.2 VARIANTA VYUŽITÍ PŘÍMÉ AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE POMOCÍ ELEKTROCHEMICKÝCH AKUMULÁTORŮ	46
5 ZÁVĚR	49
POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE	50
PŘÍLOHY	51
SEZNAM PŘÍLOH	51

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na akumulaci energie pro nízkoenergetické domy. V nízkoenergetických domech je obecně potřeba méně energie na vytápění než v klasické zástavbě, a proto jsou velmi vhodné pro akumulaci tepelné energie. Tato práce zkoumá možnosti akumulace i energie elektrické.

Cílem práce je prověřit možnosti akumulace elektrické energie pro rodinné domy a určit jejich ekonomickou návratnost.

Práce je rozdělena do čtyř částí, kde první seznamuje s principy a vlastnostmi nízkoenergetických domů. V druhé části jsou představeny některé možnosti akumulace jak tepelné, tak elektrické energie. U uvedených možností jsou naznačeny principy zvolené technologie společně s jejími klady a zápory. V třetí části se práce zaměřuje na popis a výpočet několika možností akumulace elektrické energie. V poslední, čtvrté části, je ekonomicky zhodnocena proveditelnost uváděných variant.

Seznam symbolů

$ND [-]$	nízkoenergetický dům
$LCA [-]$	životní cyklus výrobku
$OZE [-]$	obnovitelné zdroje energie
$CAES [-]$	compressed air energy storage (ukládání energie pomocí stlačeného vzduchu)
$AA - CAES [-]$	advanced adiabatic compressed air energy storage
$\beta [-]$	součinitel soudobosti
$JZ [W]$	jouleovy ztráty
$p_{rf} [-]$	koeficient hydraulických ztrát přívodního potrubí
$h_m [-]$	mechanická účinnost turbíny
$h_g [-]$	mechanická účinnost generátoru

1 Nízkoenergetické domy

Dle hodnocení tepelné náročnosti vztažené na jednotku plochy za rok se nízkoenergetickým domem rozumí objekt, jehož měrná spotřeba energie není vyšší než $50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$. Tímto se nízkoenergetické domy (ND) liší od současné výstavby podle platné normy, kde energetické náročnost je stanovena na $a = 150 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$. U starších staveb tato náročnost mohla dosahovat hodnot až $300 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$. Naopak proti tomu pasivní domy mají stanovenou energetickou náročnost na $30 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$.

Nízkoenergetické domy tedy poskytují při provozu tedy značnou úsporu energií oproti standardní výstavbě, přičemž jejich pořizovací cena se v průměru pohybuje jen o 10 – 20 % výš než u standardní výstavby. [1]

1.1 Zásady, znaky a principy ND

Nízkoenergetické domy na pohled mohou vypadat jako každý jiný dům. Mohou mít členité fasády, složitě tvarovanou klenbu střechy nebo různě tvarovaný půdorys. Díky moderním stavebním materiálům se dá ND zamaskovat jako standardní dům a nikdo nic nepozná, ale to se samozřejmě odrazí na počáteční investici.

V době kdy vznikal standard nízkoenergetických domů, bylo vytvořeno několik zásad pro jejich výstavbu, díky kterým se mělo docílit úspory potřebné energie při provozu. Tyto zásady, přes všechno co bylo napsáno výše, stále platí.

1.1.1 Zásady pro výstavbu ND

Objekt nízkoenergetického domu by se měl držet několika pravidel. Hned při návrhu ND se musí pamatovat na místo, kde bude objekt vystavěn a zároveň projektant musí být seznámen s tím, jak se bude objekt v budoucnu provozovat. Podle toho může navrhnout rozložení místností, oken a rozvodů tak, aby ND maximálně využíval solární zisky ze Slunce, teplo z odpadní vody nebo teplo z odvedeného vzduchu přes rekuperační jednotku.

Nízkoenergetický dům by měl mít hlavní prosklené plochy orientované na jižní stranu, neboť z této strany přes den svítí nejvíce Slunce, tedy je možnost nejvyššího příjmu tepla do domu. Západní a východní strany mohou obsahovat také významné prosklené plochy, ale není to podmínkou, z těchto stran již tolik tepla jako z jižní strany, pomocí pasivních solárních zisků, neprostoupí. Naopak na severní straně objektu by mělo být oken minimum, neboť zde Slunce nesvítí, a zároveň

nejstudenější vítr, který bude objekt ochlazovat, fouká právě od severu. Možností je také mít severní stranu domu zapuštěnou ve svahu do země. Okolní zemina bude působit jako velmi dobrý izolant a dům se ani nebude ochlazovat severním větrem tím, že ho celý obteče.

Nelze však rozmístit prosklené plochy, okna nebo střešní okna jen tak, bez rozmyslu. Teplo, které se jimi dostane do objektu, přispívá do jeho energetické bilance. To se za normálních okolností může jevit jako chtěný efekt, ale při velkém nadbytku tohoto tepla se začne objekt přehřívat.

Dále při návrhu je nutno rozhodnout, kde v domě budou jaké místnosti a jak se bude využívat. Využívá se takzvaného zonování, kdy místnosti s vyšším požadavkem na teplo se umístí na jižní stranu objektu. To jsou povětšinou obývací místnosti, koupelny. Naopak místnosti s nižším požadavkem na teplo, např. ložnice a dětské pokoje se umístí na stranu severní.

Jednou z věcí, díky kterým se v energeticky úsporných domech dosahuje nízké náročnosti na energie pro vytápění, je rekuperace tepla. Pro rodinné domy je zatím dominantní pouze rekuperace vzduchu, ale už přibývá i rekuperačních systémů pro odpadní vody.

Rekuperační jednotky vzduchu mají na starost stálou výměnu vzduchu v objektu. Čerstvý, avšak studený, vzduch, který nasávají z venkovního prostředí, ohřejí v tepelném výměníku pomocí tepla dodaného odčerpáváním vzduchu z objektu. Tedy než se odvede starý vzduch úplně z objektu, je jeho teplo použito pro predehřátí nového vzduchu z venkovního prostředí.

Rekuperační jednotky odpadních vod pracují na stejném principu, ale mají na starost využít teplo z vypouštěných vod například z myček, praček, z odtoků z koupelny apod. Tímto teplem pak mohou predehřívát vodu, která je dopouštěna do bojleru apod.

1.1.2 Architektonické znaky nízkoenergetických domů

Jak již bylo napsáno výše, ND mohou nabývat různých geometrických tvarů, ale v zásadě pro jednoduché dosažení cíle, nízké měrné spotřeby energie v domě, je důležité držet se kompaktních tvarů. Kompaktní tvar zajišťuje, že nebude přes zbytečně členitou fasádu unikat teplo pryč z domu. Balkony jsou typickými teplenými mosty, které se vůči domu chovají jako chladič.

Takto se mohou chovat další části objektu, jako jsou například sklepy a garáže. V dnešních novostavbách se již často sklepy nerealizují, a pokud ano, mohou přispívat k ochlazování domu. Stejně tak garáž vystavěná přímo vedle domu musí být dokonale izolována od ND, neboť se jedná o nevytápěný prostor, který by velmi ochlazoval ND.

1.2 Konstrukce ND

Samotné konstrukce se obvykle dělí na 2 velké skupiny, lehké a masivní. Přičemž je dobré si uvědomit, že je možné mít dům, který bude mít omítku a přitom bude dřevostavbou a naopak například zděný dům může mít dřevěné obklady. Dřevostavby mají větší podíl mezi nízkoenergetickými domy než mezi klasickou výstavbou. Jedním z důvodů je, že ve většině případů je vždy jednodušší u dřevostavby vložit do pláště budovy potřebné množství izolace bez toho, aby narostla moc jejich tloušťka. Obvodové a ostatní druhy konstrukcí mají za úkol oddělit prostory s rozdílnými teplotami vzduchu a musí splňovat u nízkoenergetických domů vysoké požadavky.

Mezi ně například patří:

- zamezení prostupu tepla, vyjádřené součinitelem prostupu tepla,
- zajištění dostatečně vysoké teploty na vnitřních stěnách konstrukcí i při velmi nízkých venkovních teplotách,
- vyloučení nebo skoro zamezení kondenzaci vody v konstrukcích, vyjádřené pomocí roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry,
- eliminace průniku okolního nebo vnitřního vzduchu konstrukcemi, ať už netěsnostmi, nedokonalostmi nebo konstrukčně podmíněnými netěsnostmi,
- snížení vlivu tepelných mostů v místech spojování konstrukcí.

Jedním z hodnocení kvality konstrukce je součinitel prostupu tepla.

Druhý faktor pro hodnocení kvality konstrukce je přítomnost kondenzace vlhkosti. Konstrukce vyhovuje, je-li kondenzace nulová nebo velmi malá. Pokud tedy dochází k tvorbě kondenzátu, dá se konstrukce požadovat za vyhovující, splní-li tato kritéria:

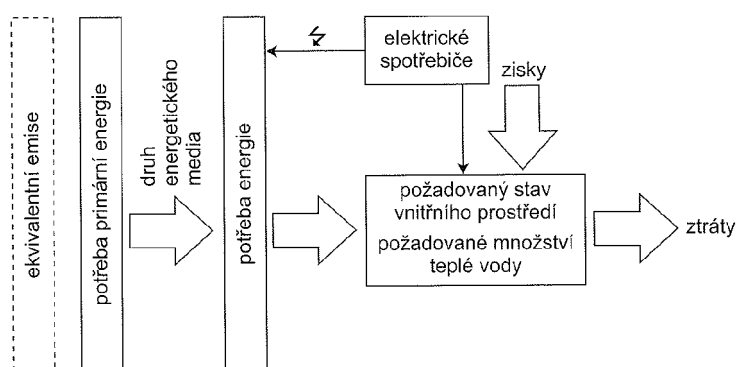
- požadovaná funkčnost konstrukce se nezmění ani v přítomnosti kondenzátu,
- absolutní množství kondenzátu není velké,

- z roční bilance se vypočte, že v průběhu let nebude docházet k hromadění kondenzátu v konstrukci.

Vlhkost v konstrukci má několik degradačních vlastností. Přidává hmotnost samotné konstrukci, tudíž narušuje její statickou rezervu, a tím snižuje její životnost. Nakupení kondenzátu také mění objem konstrukce a snižuje povrchovou teplotu vnitřních stěn, na kterých se pak mohou vytvářet plísně, které mohou mít pak další životnostně degradační efekt na konstrukce. Navíc jsou obvykle zdravotně závadné pro obyvatele domu. Za malé množství kondenzátu pro jednoplášťovou střechu a obvodové zdi s vnějším zateplením se považuje $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. U ostatních konstrukcí se uvažuje $0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. [1] [2]

1.3 Energetická bilance

Energetická bilance vyjadřuje energetické toky v objektu, těmito toky se myslí toky tepelné. Zahrnuje všechny energetické příjmy a ztráty. Grafickým výstupem rovnice energetické bilance je bilanční schéma.



Obr. č. 1 Zjednodušené schéma energetické bilance [1]

Tepelné ztráty se dají rozdělit na ztráty prostupem tepla a ztráty výměnou vzduchu. Prostup tepla se může odehrávat na více místech. Může se odehrávat přímo konstrukcemi, pokud jsou vystaveny venkovní atmosféře nebo nepřímo, a to v případě pokud je mezi vytápěným a venkovním prostorem prostor nevytápěný. Složitějším případem prostupu tepla je prostup přes zeminu doléhající na budovu. Toto obvykle vzniká v následujících situacích: pod vytápěnou budovou je jen základová konstrukce na zemině, nevytápěný suterén, otevřený průlezný prostor nebo i suterén z části nebo úplně vytápěný. Konkrétní výpočet je velmi složitý, který obvykle řeší specialisté, zde je pouze uveden základní výpočet pro názornost.

Ztráty můžeme dělit na ztráty způsobené prostupem tepla, ztráty z přímého prostupu tepla do vnějšího prostoru, ztráty způsobené přes tepelnou propustnost

zeminy, tepelná ztráta přes nevytápěné prostory, tepelné ztráty způsobené výměnou vzduchu.

Do tepelných zisků můžeme řadit pasivní solární zisky, teplo produkované běžným provozem spotřebičů, teplo vydávané osobami v objektu a teplo produkované otopnou soustavou.

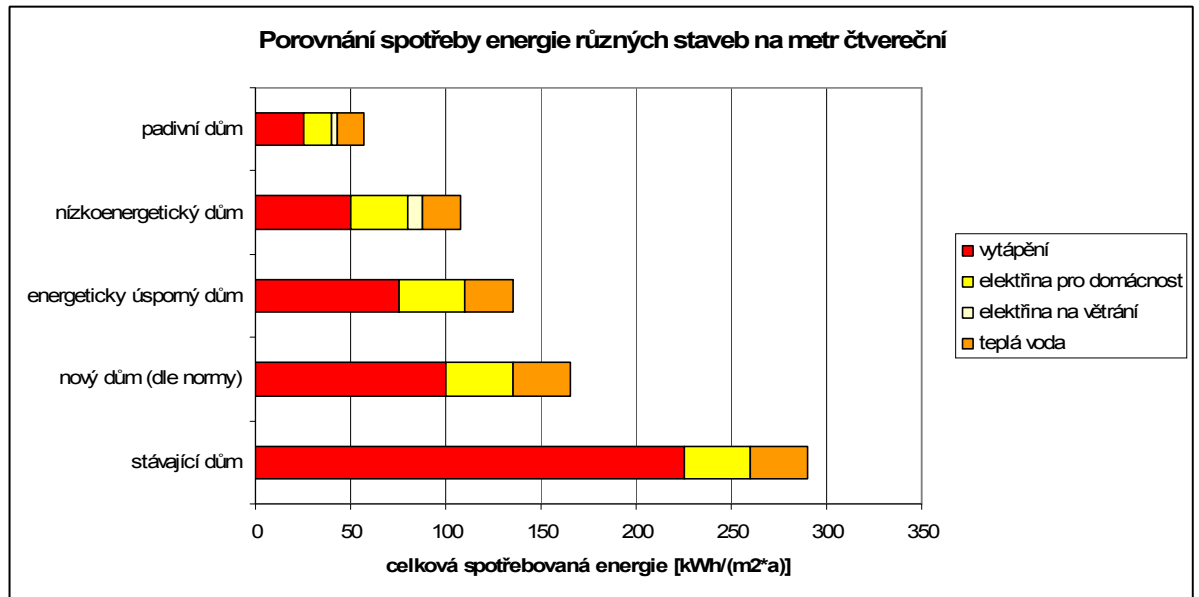
Tyto hodnoty ztrát a zisků se samozřejmě mění v závislosti na provedení objektu a obecně platí, že čím více je objekt izolovaný, tím je větší riziko přetopení. Např. u nulového domu při provozu žehličky dochází k výraznému nárůstu přivedeného tepla, které nemá možnost normálně opustit objekt. Nastává pak paradoxní situace, kdy se musí objekt začít chladit. To ovšem není problém jen malých RD, ale i výškových kancelářských budov, které jsou celé prosklené. Jižní strana budovy je přetopena díky velkým solárním ziskům a musí se tedy klimatizovat na nižší teplotu, přičemž severní strana je poměrně chladná a musí se vytápět na teplotu vyšší. Vše je způsobeno pouze špatným a zanedbaným projektem, kdy se špatně určily energetické toky v budově. [1]

1.4 Ekonomika ND vs. klasická stavba

Již z názvu nízkoenergetický dům vyplývá, že jeho potřeba dodávaného tepla bude pravděpodobně nižší než u klasické výstavby. Nízkoenergetický tu však hlavně znamená pouze z hlediska tepelné energie. Elektrická energie se totiž přímo konstrukcí budovy nebo použitými technologiemi šetřit nedá. To tedy neplatí pro případ, kdy se pro vytápění či klimatizování objektu využívá elektrické energie. V takovém případě má konstrukce velký vliv i na spotřebu energie elektrické.

Většina staveb však využívá pro vytápění jiný zdroj tepla a klimatizace není v našich podmínkách stále dost rozšířená, takže lze jako nízkoenergetický dům stále považovat ten, který šetří energii tepelnou na vytápění. Naopak při provozu všech elektrických zařízení v domě vzniká odpadní teplo, které je nutno připočítávat do tepelných zisků budovy.

Energie ušetřená při provozu stavby není jediná, která se ušetří. K úspoře energie dochází i při výrobě materiálů pro nízkoenergetické stavby. Poměr energií na výstavbu ND a na jeho provoz se pohybuje v poměru 1:3, u klasické zástavby je to 1:10, ještě s tím rozdílem, že u ND se jedná o mnohem nižší absolutní čísla hodnot spotřebované energie.



Obr. č. 2 Graf spotřeby energií v různých stavbách [2]

2 Akumulace energie

Při dnešních cenách energií je zřejmé, že kromě snižování spotřeby energie jako celku je výhodné snažit se maximálně využít levnou elektrickou energii v době, kdy je jí dostatek a naopak spotřebovávat minimum elektrické energie v době, kdy je jí málo a její cena je vysoká.

Už dávno neplatí, že elektrická energie je levná pouze přes noc, tedy v čase, když za dřívějších dob většina podniků nepracovala a energie tedy byl přebytek. Dnes se můžeme setkávat s časovými úseky, kdy je energie příliš, i ve dne. To může být způsobeno špatně odhadnutým diagramem zatížení sítě, výpadkem určitých velkých provozů či hlavně, rozmachem velkých zdrojů energie z obnovitelných zdrojů.

Toto je navíc pouze pohled na využití akumulace energie pro domácnosti. To samé se odehrává ve větší míře na úrovni přenosových a distribučních sítí. Všechny výkyvy je nutno kompenzovat a nejlepší způsobem se jeví použití jakéhosi bufferu, tedy vyrovnávacího prvku. Ten by mohl v případě nedostatku energie v síti okamžitě pokrývat potřebný rozdíl a naopak při náhlém přetížení soustavy by mohl absorbovat přebytečnou elektrickou energii a uchovávat ji pro další využití.

Taková technologie musí splňovat určitá kritéria, která minimálně zahrnují:

- vysokou efektivitu uskladnění energie,
- velké vybíjecí a nabíjecí výkony,
- stabilitu,
- regulovatelnost,
- dostatečně dlouhou dobu uskladnění energie,
- opakovatelnost procesu.

K těmto kritériím by se dala určitě přidat ještě nutnost toho, aby ona technologie byla dostatečně environmentálně a ekonomicky přívětivá.

2.1 Vliv na přenosovou síť

Obnovitelné zdroje energie (OZE) se totiž staly zeleným symbolem poslední doby, jmenovitě zdroje využívající energii větru a Slunce. Tato práce si neklade za úkol řešit problémy OZE jako takové, zda-li jsou vskutku tak zelené, jak se o nich mluví, nebo naopak. Ať už je pravda kdekoliv, je faktem, že OZE jsou schopny způsobovat masivní energetické výkyvy v přenosové síti.

Legislativně je dáno, že OZE se musí připojovat k síti přednostně, tedy kdykoliv jen mohou pracovat. Tady právě nastává problém, který již několikrát mohl, a pravděpodobně ještě určitě někdy povede k riziku Black-outu. OZE mají totiž tu nevýhodu, že jejich výkon je velmi nestálý a v podstatě se nedá předpovědět. To samo o sobě by nebylo tak hrozné, kdyby se nevystavovali velké soustředěné zdroje této energie. Při rovnoměrném rozmístění malých elektráren podél celé energetické sítě, bylo by možné energetické výkyvy lépe regulovat, jejich tok by se mohl odklonit nebo využít v místě vzniku. Bohužel ve skutečnosti vznikají právě velké mnoho megawattové zdroje, které potom buď pracují nebo nepracují, podle toho jestli zasvítí slunce nebo zafouká vítr. Jejich rozběh je také velmi rychlý, tedy velmi rychle dodávají svůj plný výkon, který okamžitě začne proudit do sítě. Díky tomu, že v elektrické síti v jeden okamžik musí být rovnováha energie, tedy výroba se musí rovnat spotřebě, je nutno pracovat s touto přebytečnou energií.

Energie z OZE se tedy musí přepravovat pomocí vedení vysokého napětí, kterým už tou dobou proudí energie, ze stálé výroby jiných elektráren. Tím se vedení přetěžují a hrozí jejich poškození. V současné době, kdy již bylo vystavěno mnoho velkých zdrojů využívající OZE, je jediným řešením přestavovat stávající přenosovou soustavu a navyšovat její kapacitu. Nutno podotknout, že tato soustava byla od svého počátku navrhována tak, aby vyhovovala klasickým zdrojům elektrické energie, tedy zdrojům, které je možno bez problému regulovat.

Na severu Spolkové republiky Německa vznikla obrovská větrná farma s instalovaným výkonem 24,6 GW. Pro srovnání, v ČR je ve větrných elektrárnách instalovaný výkon cca 150 MW. Pro přenosovou síť tedy je určitě podstatné jestli zrovna na severu Německa fouká nebo nefouká. Jak již bylo napsáno, v síti musí být rovnováha mezi výrobou a spotřebou energie. Možnostmi tedy jak toho dosáhnout je např. přebytečnou energii poslat levně do jiného státu, anebo se jí snažit uskladnit tak, aby se dala využít později.

Bohužel zde se naráží na další problém s elektrickou energií, tedy její nemožnost jí efektivně uskladnit. Z principu lze energii uskladnit pouze ve formě náboje v elektrickém kondenzátoru či ve formě elektromagnetického pole cívky. Oba tyto způsoby ale nedovolují uskladňovat takové množství energie, aby se toho mohlo využívat v praxi ke kompenzaci výkyvů v síti nebo na uskladňování přebytečné energie. Jsou sice projekty superkapacitátorových stanic, které jak se zdá, s úspěchem využívají v trakci, např. na tramvajových linkách. Tyto stanice ale pracují

tak, že se vždy velmi rychle nabijí při příjezdu tramvaje do stanice využívající její decelerace, a zase rychle vybijí, dodávajíc tramvaji energii potřebnou k rozjezdu. Ovšem jestli superkapacitorové systému přinesou kýžený výsledek, to ukáže až čas a podrobná měření využití.

2.2 Inteligentní síť Smart Grid

Nebo také Smart energy grids, to jsou distribuční sítě nové generace. Tyto sítě dokáží plně, tedy obousměrně, interagovat se všemi účastníky elektrického rozvodu, jako jsou např. generátory, domácí spotřebiče, elektromobily atd. Díky této obousměrné komunikaci je Smart Grid schopna ekonomicky, efektivně a s ohledem na bezpečnost dodávky, řídit síť. Síť se skládá z řídicích, monitorovacích a akumulačních prvků. Chod sítě Smart grid zahrnuje např. regulaci chodu jistých spotřebičů v domácnosti, které nemají pevně stanovenou dobu provozu a mohou v rámci svého chodu být spínány a vypínány podle vytížení sítě.

V České republice je v současné době spuštěný pilotní projekt Smart Region Vrchlabí, který spravuje společnost ČEZ. Tento projekt slouží jako testovací systém, jehož poznatky přispějí k rozvoji sítí Smart Grid v ČR i v EU. [19]

2.3 Způsoby uskladňování energie

Uskladňování energie lze rozdělit podle toho, jakou formu energie požadujeme na výstupu při jejím odebírání z uskladňovacích zásobníků. Nejvýhodnější je uskladňovat energii tepelnou, resp. využívat uskladněnou energii pak ve formě dodávaného tepla. Technologie přeměny uskladněné energie na tepelnou je totiž mnohem jednodušší a tedy i levnější, a zároveň je více efektivní. Ideálním zásobníkem tepelné energie, ale i elektrické, je ten, který má malý objem, nízkou cenu a malé ztráty. Druhým využitím uskladněné energie je výroba elektrické energie.

Díky povaze elektrické energie a problémům s jejím uskladněním se využívá toho, že se elektrická energie uskladňuje nepřímě. To znamená, že se uskladňuje v jiné formě do určitého pracovního media. Technologií jak uchovávat takto energii je mnoho, každé mají bohužel své omezení. Navíc žádná z technologií nemá dostatečný výkon [W/kg] a zároveň dostatečnou hustotu energie [Wh/kg].

Způsoby uskladnění energie mohou být rozděleny podle principu uchovávání energie na fyzikální, anebo chemické.

Fyzikální:	setrvačníky přečerpávací vodní elektrárny akumulace energie pomocí stlačeného vzduchu
Chemické:	olověné a alkalické akumulátory moderní Lithium-Ion, Sodík-Síra akumulátory superkapacitory průtokové baterie

Fyzikální způsoby využívají změn potenciální a kinetické energie pro uchování energie. Naopak chemické způsob využívají vratných změn mezi elektrodami a ionty z elektrolytu.

Způsobů akumulace tepelné energie je, stejně jako v případě akumulace energie elektrické, mnoho. K akumulaci je možno využít jakékoliv cyklické nebo vratné procesy. Je několik základních typů akumulace podle toho, který fyzikálně chemický princip využívají:

- Akumulace citelného tepla,
- Akumulace latentního tepla,
- Absorpce vodní páry,
- + jiné způsoby, které mají spíše experimentální nebo speciální

uplatnění.

Každá technologie má své uplatnění jinde, díky svým konkrétním přednostem a naopak slabinám. Např. kdysi používané setrvačníky ve švýcarských autobusech, které měli pomoci při rozjezdu vozidla, poté co nahromadily energii z brždění, se musely přestat používat. Jejich konstrukce byla taková, že jako nízkohmotnostní setrvačníky, aby dokázaly uchovat dostatek energie, se musely točit vysokou rychlostí, díky tomu při autonehodě byl problém s tím, že setrvačníky mohly vyletět z pouzder a způsobit další škody. [10]

2.4 Vybrané perspektivní způsoby akumulace energie

Způsobů je tedy mnoho a využití konkrétní technologie, je dána pro jakou aplikaci bude použita. Některé technologie se svou konstrukcí nebo provozními vlastnostmi hodí pro určité aplikace a naopak pro jiné jsou naprosto nevhodné. To bylo již uvedeno na příkladu vysokootáčkového setrvačníku, který se hodí do stacionárních zdrojů a ne do mobilních.

2.4.1 Elektrochemické akumulátory

Mezi všemi způsoby akumulace vyčnívají baterie svou širokou škálou aplikace. Mohou být použity jak ve velkých sítích, tak naopak v malých zařízeních jako jsou přenosná zařízení nebo záložní zdroje. Navíc se v hojné míře začínají používat v automobilismu v elektromobilech, díky čemuž dochází k jejich velkému rozvoji.

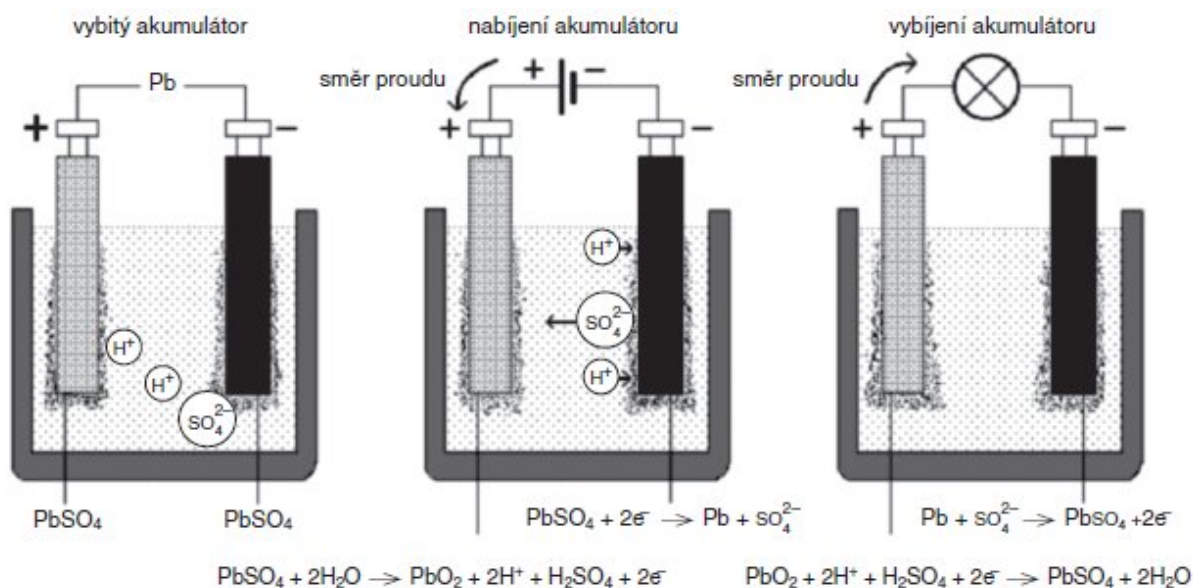
Elektrochemické uskladnění energie spočívá v přeměně chemické energie do elektrické a naopak. Podle přeměny energie se články dělí na primární, sekundární a palivové. Primární články po vybití ztrácí hodnotu, neboť děje probíhající uvnitř jsou nevratné. Sekundární články se po dodání elektrické energie opět uvedou do původního stavu. V palivových článcích jsou aktivní látky kontinuálně přiváděny a elektrochemická reakce probíhá nepřerušovaně.

Elektrochemické články mohou mít různá složení, které pak určují jejich zařazení při použití. Články mohou být například olověné (Pb), nikel-kadmiové (NiCd), nikel-metal hydridové (NiMH), lithium-iontové (Li-ion), Lithium-polymerové (Li-Pol).

Nabíjení elektrochemického článku se provádí tak, že se pomocí externě přivedeného proudu, reakční produkty převedou zpět na původní reaktanty. Během nabíjení se elektrická energie mění v článku na chemickou a záporná elektroda se při tomto procesu stává anodou. Při vybití reaktant oxiduje a předává energii ve formě volných elektronů katodě, tedy záporné elektrodě.

Elektrické napětí jednoho olověného článku je v rozmezí 1,1 až 2 V. Řazením do série se docílí vyššího napětí, např. v automobilech se v autobaterii nachází 6 sériově řazených olověných článků s celkovým napětím 12 V.

Na následujícím obrázku č. 3 je schématicky uvedeno, jak pracuje olověný článek, ostatní druhy článků pracují obdobně, pouze s jinými ionty.



Obr. č. 3 Schéma elektrochemických reakcí v Pb akumulátoru [4]

Elektrochemické články mají díky mnohaletému vývoji již velmi dobře zvládnutou výrobní technologii, navíc mohou být opětovně vybity a nabity a zároveň mají relativně nízkou cenu. Jejich nevýhodami jsou samovybití a citlivost na hluboké vybití, jenž má za následek nevratné změny na elektrodách, čímž snižuje celkovou kapacitu akumulátoru. [4]

2.4.2 Superkapacitory

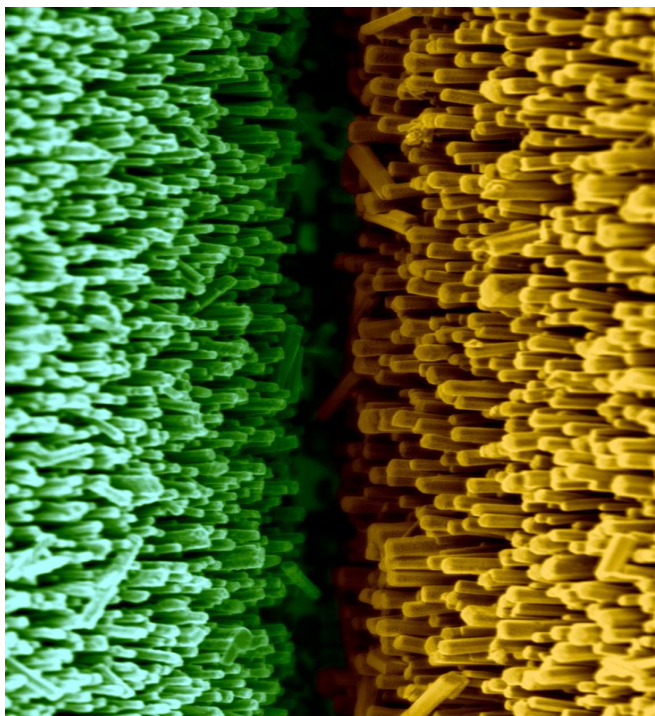
Superkapacitory jsou, jak již jejich název napovídá, podobné běžným kapacitorům používaných v elektrotechnice. Energie se zde tedy ukládá do elektricky nabitého pole kondenzátoru. Rozdíl mezi klasickým kondenzátorem a superkapacitorem nastává v provedení elektrod, kdy superkapacitor má oproti standartnímu kapacitoru velkou plošnou hustotu elektrod, díky čemuž může jeho kapacita dosahovat až řádu tisíců faradů.

Rozvoj těchto elektrod je zapříčiněn prudkým rozvojem nanotechnologií. Na elektrodě může být např. nanosen práškový uhlík, který má poměr plocha/hmotnost 2000 m²*g⁻¹. U superkapacitoru platí stejný vztah pro energie jako pro klasický kondenzátor, zároveň platí vztah pro výpočet kapacity:

$$W = \frac{1}{2} CU^2 \quad C = \frac{Q}{U} = \epsilon \frac{S}{d}$$

Tedy, se zvyšující se plochou elektrod roste kapacita kondenzátoru, a to je u superkapacitoru právě zajištěno nánosem prášku na elektrodě, který zvětší její

efektivní plochu. Znázorněno na následujícím obrázku č. 4:



Obr. č. 4 Povrch superkapacitoru s nanoseným nanopráškem [8]

Za použití současných elektrolytů je možno dosáhnout napětí jednoho superkapacitoru asi 2,5 V, pro vyšší napětí se možno jich řadit více za sebou. Charakteristickou vlastností superkapacitorů je nízký sériový odpor, což má za následek to, že jsou vhodné pro rychlé dodávky i odběr energie. To znamená, že je nutné doplnit superkapacity o měniče napětí, které při nabíjení dokáží omezit velké nabíjecí proudy. Měnič napětí v obvodu může zároveň sloužit jako elektronická pojistka proti přetížení a přepětí.

Supercapacity mají dobrý poměr uvolněné energie/hmotnost, špičkově až $\text{kW}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zároveň se vyznačují velkou efektivitou uskladnění energie, která je kolem 95%. Jsou vhodné pro kompenzaci výkyvy např. u malých solárních elektráren. Jedinou nevýhodou je vysoká pořizovací cena, jež je způsobená nesériovostí výroby. [20][9]

2.4.3 Stlačování vzduchu do podzemí

Technologie stlačování vzduchu pod zem nebo např. do starých dolů je známa již delší dobu, asi od 70. let minulého století. Ve světě je známá pod zkratkou CAES z anglického sousloví compressed air energy storage.

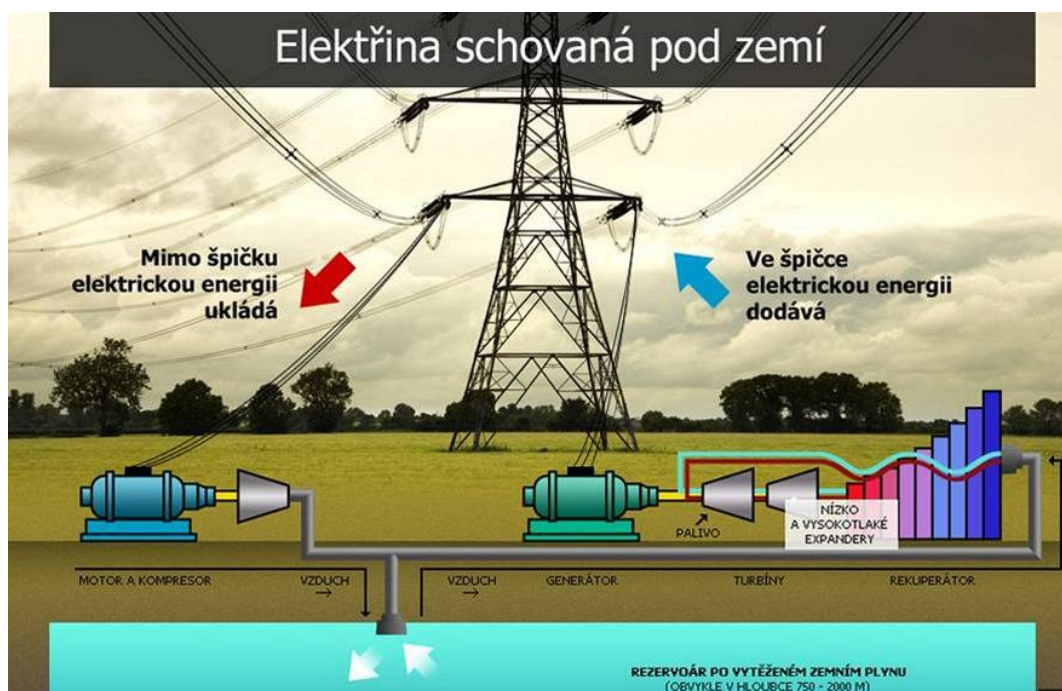
Systém pracuje na podobném principu jako přečerpávací elektrárny. V době dostatku elektrické energie se elektrická energie spotřebovává na vhánění vzduchu do podzemních prostor. V těchto prostorách se takto hromadí energie ve formě

natlakovaného vzduchu, který se následně při nedostatku energie v síti, vhání do turbíny, která je napojena na elektrický generátor, a tím dodává potřebnou elektřinu do sítě. Turbíny mohou pracovat pouze s dodávaným stlačeným vzduchem, anebo jako spalovací, pokud se dodá další palivo.

"Společnost ČEZ považuje technologii stlačeného vzduchu za zajímavý koncept, avšak k praktickému uplatnění v České republice je nutné ještě vyřešit množství otázek; například vhodnost geologických formací či jak zvýšit účinnost a zároveň technologii neúměrně nezdražit. Každopádně CAES patří mezi perspektivní možnosti v rámci způsobů akumulace energie," řekl Aleš Laciok, manažer environmentálních produktů ČEZ.

Hlavní problémem akumulace energie pomocí stlačování vzduchu je v tom, že plyn, který je podroben stlačení, se ohřeje. Toho principu je hojně využíváno v chladírenství např. u ledniček či mrazáků, anebo také u tepelných čerpadel. Jedná se vlastně o Carnotův cyklus. Kdy stlačený plyn se ohřeje, a pokud je mu teplo odebráno, ztratí část své vnitřní energie, tedy po následné expanzi dochází z pohledu akumulace energie k poklesu účinnosti.

Právě díky současnému stavu energetiky se vědci vrací k tomuto konceptu akumulace energie a díky týmu skupiny RWE a GE se podařilo již zvednout účinnost celého procesu na 70%, čímž se stlačení vzduchu vyrovnává přečerpávacím elektrárnám. Systém skladuje teplo stlačeného vzduchu a při jeho expanzi je teplo použito na jeho opětovný ohřev. Tento vylepšený systém se nazývá AA-CAES (advanced adiabatic CAES).[18] [20] [9]



Obr. č. 5 Schéma ukládání stlačeného vzduchu pod zem [31]

2.4.4 Setrvačníky

Jedná se o mechanický způsob uskladnění energie. Setrvačníky využívají k akumulaci energie kinetickou energii hmoty rotoru. V praxi se používají 2 typy setrvačnicků, nízko a vysokootáčkové.

Nízkootáčkové akumulátory mají otáčky maximálně 8000 ot/min^{-1} , tedy relativně malé otáčky a vysokou hmotnost. Jejich samotná konstrukce je pak taková, aby bylo dosaženo maximálního momentu setrvačnosti.

Vysokootáčkové mají naopak otáčky vysoké, až $100\,000 \text{ ot/min}^{-1}$, avšak musí být vyrobeny z lehkých materiálů. To samo o sobě nestačí k správné funkci rotoru při takových otáčkách, musí se zamezit tření. Rotory jsou tedy uloženy ve vakuu, většinou na magnetických ložiskách, kdy dochází k magnetické levitaci, a tedy nedochází k tření ať už o vzduch nebo v mechanických ložiskách.

Pro roztáčení, tedy nabíjení, anebo brždění, tedy vybíjení, se používají přídavné elektromagnety.

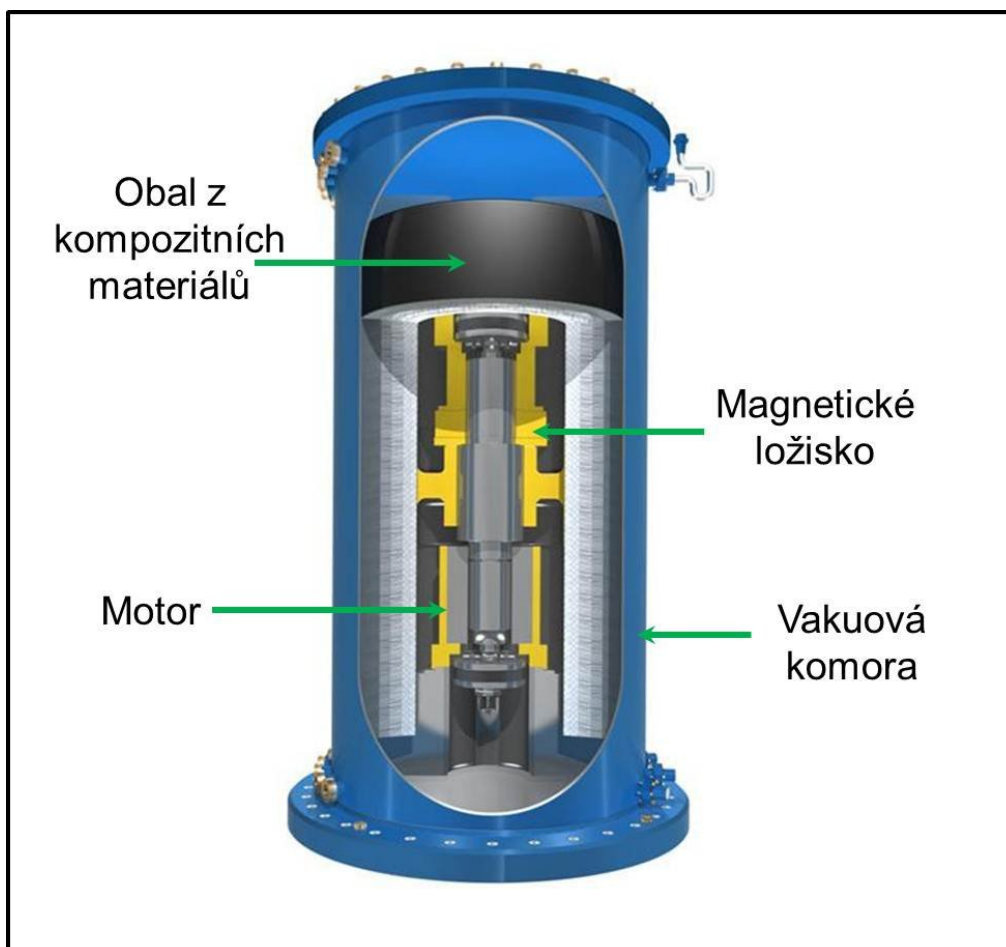
Energie setrvačnicku se dá vyjádřit jako:

$$E_k = (1/2) \cdot J \cdot \omega^2 \text{ [J]},$$

kde J je moment setrvačnosti a ω úhlová rychlost setrvačnicku.

Bohužel díky vysokým nárokům na výrobní technologii je na světě velmi málo firem, které dokáží vyrobit vysokootáčkový setrvačnick, což samozřejmě odpovídá jejich ceně. Díky tomu je zatím používá velmi málo firem, jednou z nich je např.

NASA, neboť setrvačníky mají kromě jiného i gyroskopický jev. Gyroskopický jev se velmi hojně využívá při polohové stabilizaci.



Obr. č. 6 Schéma vysokootáčkového setrvačníku [19]

Charakteristické vlastnosti setrvačnicků jsou: velmi krátká náběhová prodleva, vysoký výkon a poměrně nízkou energií. Jejich nevýhodou je již zmíněná vysoká cena. [20][9]

2.4.5 Využití vodíku

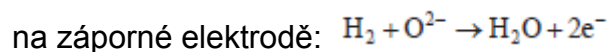
Vodíkové hospodářství je pojem, který se objevil v polovině 70. let minulého století. Z pohledu paliv je vodík velmi vhodný pro uskladnění energie, neboť je to jedno z nečistších, neúčinnějších a nejlhčích paliv, bohužel se ale nevyskytuje volně v přírodě. Je tedy nutné jeho získání z primárních zdrojů energie, což je energeticky náročná činnost. Při jeho výrobě elektrolýzou vody je na 1 kg vodíku potřeba energie 38 kWh a na jeho zkapalnění asi 10 kWh, za předpokladu že účinnost elektrolýzéry je 90 %.

Vyrobený vodík se musí skladovat ve speciálních nádobách, do kterých nedifunduje, neboť by jinak způsoboval křehnutí materiálu. Jeho výhřevnost, závislá

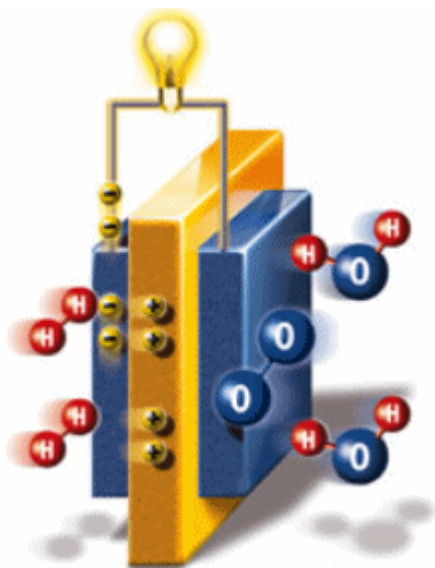
na čistotě, je až $100 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a jeho spalováním vzniká pouze teplo, vodní pára a malé množství oxidů vodíku.

Druhý způsob využití vodíku jsou palivové články, kdy dochází k tzv. studené oxidaci vodíku. Jedná se o řízenou elektrochemickou reakci, kdy při oxidačně-redukčním ději dochází přímo ke generaci elektrického proudu a malého množství tepla. K elektrodám musí být nepřetržitě přiváděno palivo i okysličovadlo za současného odvodu spalin. Nejlépe zvládnuté jsou palivové články, kde dochází k slučování kyslíku s vodíkem. Článek má porézní elektrody, které jsou odděleny elektrolytem. V místě pórů dochází k elektrochemické reakci paliva a redukci okysličovadla.

Nastávají tyto reakce:



Názorně lze vidět na následujícím obrázku č. 7:



Obr. č. 7 Schéma elektrochemické reakce ve vodíkovém článku [21]

Dalo by se říci, že budoucnost vodíku je spjata s rozvojem solárních a větrných elektráren. Tyto elektrárny totiž, jak již bylo zmíněno, nemohou garantovat stálý výkon. Tím že jsou připojeny přímo do sítě, tak mohou působit negativně na celou síť. Za předpokladu, že by se jejich výkon odváděl přímo v místě do výroby vodíku, který by se následně využíval k stálé výrobě elektrické energie, došlo by k odbourání negativního vlivu těchto elektráren na přenosovou síť. V malých aplikacích jsou již

projekty na vodíkové články pro napájení notebooků a jiných malých zařízení a také i automobilů. [4]

2.5 Akumulace citelného tepla

Jedná se o nejjednodušší a zároveň historicky první využívaný způsob akumulace tepelné energie, která využívá tepelné kapacity pracovní látky. Tedy při tomto druhu akumulace dochází k prostému ohřevu pracovní látky, přičemž za zvýšené tepelné izolace dochází pouze k malému úniku tepla z akumulátoru. Pracovní látka by měla mít co největší měrnou tepelnou kapacitu a zároveň nízkou cenu. Těmto požadavkům nejlépe odpovídá voda, která má největší měrnou tepelnou kapacitu a to 4,2 kJ/(kg·K). Díky její dostupnosti se využívá v domácnostech minimálně pro akumulaci TUV v tzv. bojleru, zásobníku teplé vody. Pro tepelnou akumulaci lze využít i jiných látek, např. kamení. Tyto materiály se používají díky nižším nárokům na konstrukci zásobníku většímu rozsahu pracovních teplot. Zásobníky na pevné látky nemohou být poškozeny mrazy nebo nemůže dojít k přetlaku uvnitř nádoby vlivem přetopení.

Dalším perspektivním způsobem akumulace tepla je akumulace do země. Zemina je totiž dobrý tepelný izolant a při dostatečné hloubce vrtu lze celý rok uskladňovat teplo na chladnější období. Jedinou podmínkou je dostatečná hloubka spodních vod, které by způsobovaly odvod tepla mimo využitelné území.

Využitím akumulace citelného tepla ve stavebnictví se zabývá norma ČSN 73 0540-2:2002. [10]

2.6 Akumulace latentního tepla

Tento způsob akumulace tepla využívá fázové změny v pracovní látce. Obecně jsou chemické látky schopny 3 druhů fázových změn a to:

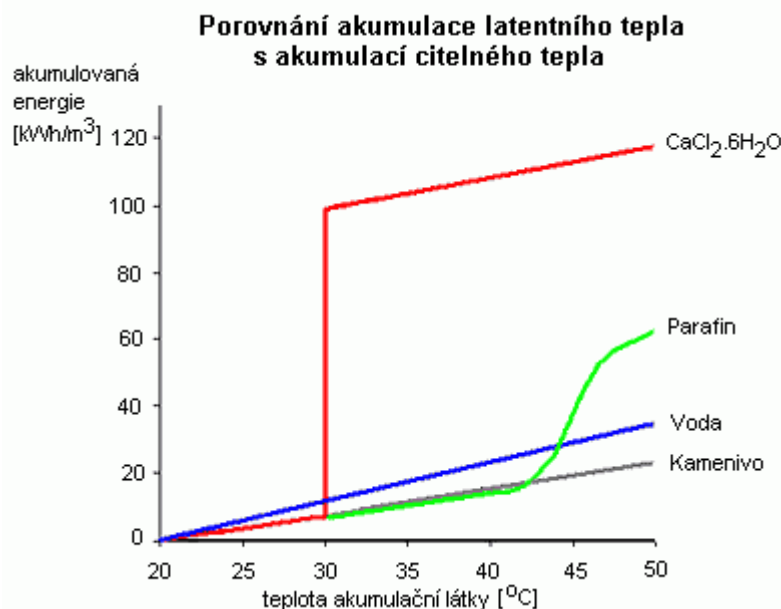
sublimace/resublimace

výpar/kondenzace

tání/tuhnutí

Technicky je možné zvládnout všechny tyto změny, ale skladovat páru je velmi obtížné, z tohoto důvodu se obvykle využívá pouze přechodu mezi tuhou a kapalnou fází látky. Oproti akumulaci citelného tepla je zde výhodou, že při čerpání tepla nedochází ke snižování teploty a často má zásobník i menší objem. Pracovní teplota akumulátoru se určí volbou pracovní látky. Používají se tedy látky, které tají při požadované teplotě. Nejlepší je použití chemicky čistých látek, ale v praxi dochází

vždy k jejich znečištění, a tím se zvětší rozsah teplot, kdy tají. Jako zástupce čistých chemických látek lze uvést síran sodný $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$, který má entalpii tání 243 kJ/kg při teplotě kolem 30°C. Používají se naopak i chemické sloučeniny, např. parafíny, které podle složení mají různou teplotu tání, resp. rozsah teplot tání. [10]



Obr. č. 8 Graf porovnání akumulace latentního a citelného tepla [10]

2.7 Absorpce vzdušné vlhkosti

Relativní vlhkost vzduchu v obytných prostorech může být v rozmezí od 20 do 80%, přičemž nad 45 % a 20 °C se uvažuje o tepelné pohodě. Při 50 % rel. vlhkosti obsahuje vzduch přibližně 8,6 g páry na m³. Výparná entalpie vody při pokojové teplotě je přibližně 2500 kJ/kg jejíž kompletní absorpcí z odvětrávaného vzduchu lze získat zhruba energii 21,6 kJ/m³, která může být využita k ohřevu stejného množství vzduchu o 18,5 K. Pro jímání vzdušné vlhkosti se využívá např. sorpce vodní páry v hygroskopických látkách a chemická absorpce vodní páry. [10]

3 Návrh akumulace energie pro nízkoenergetický dům

3.1 Situační popis objektu

Pro návrh akumulace energie byl vybrán objekt nízkoenergetického domu z bakalářské práce Návrh nízkoenergetického domu – Tomáš Bílý.

Jedná se o jednoposchoďový rodinný dům typu bungalow, který se nachází v obci Líně u Plzně. Objekt je dřevostavba využívající 2 typů konstrukčních systémů na bázi masivního dřeva. Zastavěná plocha je 214,5 m².

Objekt je vytápěn plynovým kondenzačním kotlem Geminox THRi 2-17 C o výkonu od 2,5 do 17 kW. Jako zdroj teplé užitkové vody slouží tepelný zásobník (bojler), který disponuje paralelními vstupy pro vytápění pomocí teplé vody z externího zdroje. Je zároveň schopen vlastního ohřevu elektrickou topnou spirálou a příkonu 4700 W. Sekundární zdroj tepla jsou krbová kamna s tepelným výměníkem. Voda je v otopné soustavě rozváděna do radiátorů a podlahového topení.

Pro větší úsporu energie jsou v objektu umístěny malé jednotky na rekuperaci vzduchu Lo-Carbon HR25LH s vestavěným 24 V motorem. Rekuperační odsavače jsou umístěny v kuchyni, koupelně, obývacím pokoji, dětských pokojích a v ložnici. Rekuperační jednotky jsou provozovány většinu času v základním režimu, kdy jejich spotřeba činí 2 W na odsavač. Pouze v době vaření v kuchyni nebo zvýšeného výskytu a pohybu osob v obývacím pokoji nebo využívání koupelny je uvažováno, že jednotky budou zapnuté v režimu zvýšeného výkonu, tj. 23 W.

Roční měrná spotřeba tepla je stanovena na 48,1 kWh/m². Tepelná ztráta objektu po započtení pasivních solárních zisků a vnitřních zisků vychází na 4080 W.

Nutný elektrický příkon objektu lze rozdělit do dvou časových období. První je období, kdy se netopí a není potřeba pohánět oběhové čerpadlo otopné soustavy. Druhým obdobím je otopná sezona, kdy k napájení vzduchotechniky přibude i napájení oběhového čerpadla.

O chod spotřebičů a regulaci systému akumulace energie se stará řídicí systém inHome AMX, který schopen interagovat s ostatními zařízeními a měnit jejich chod. Systém spolupracuje také se systémem zabezpečovací techniky a je schopen pomocí vzájemné komunikace řídit chod spotřebičů v objektu na základě údajů z čidel EZS.

Objekt nemá vlastní zdroj elektrické energie, nejsou přítomny FV panely, a je připojen do elektrické sítě kabelovým vedením 400V přes jistič 3*32 A.

rozvodná síť: 3 + PEN, AC, 50Hz, 400/230V, TN-C-S

stupeň elektrizace: B

instalovaný příkon: $P_i = 19,1\text{kW}$

součinitel soudobosti: $\beta = 0,81$

soudobý příkon: $P_\beta = P \cdot \beta = 19,1 \cdot 0,81 = 15,471\text{kW}$

Z instalovaného příkonu spadá 1940 W na osvětlení, 4700 W na ohřev teplé užitkové vody a 12460 W na ostatní spotřebiče.

Poskytovatelem elektrické energie je ČEZ distribuce a. s. s tarifní sazbou D25d z produktové řady D Akumulace 8 COMFORT. Tato tarifní sazba je dána přítomností pouze elektrického ohřevu TUV a nepřítomností elektrického vytápění objektu. Ze zvolené sazby vyplývá, že objekt bude hospodařit 2 tarify, s nízkým a vysokým. Délka nízkého tarifu bude 8h denně, to je poměrně krátká doba a může znamenat prodražení provozu objektu při normálních činnostech. [3]

3.2 Návrh systému akumulace

Cílem této práce je navrhnout řešení akumulace elektrické energie pro oběhové čerpadlo otopné soustavy a rekuperačních jednotek nízkoenergetického domu. Tento systém je navrhován v několika variantách pro různé kapacity uskladněné energie a způsoby využití s ohledem na ekonomickou stránku věci. Systém bude akumulovat během nízkého tarifu a poté během vysokého tarifu bude systém zásobovat některé systémy v objektu. Množství akumulované energie se bude lišit podle ročního období v závislosti na chodu otopné soustavy. Otopné období je obecně uvažováno od 1. září do 31. května avšak je upravováno podle průběhu denních teplot. V průměru se uvažuje otopné období o délce zhruba 230 dnů, v Praze byl 30letý normál 224 dnů.

Navrhovaná provedení akumulace:

Využití potenciální energie hmotného tělesa

Využití potenciální energie vody

Akumulace do elektrochemických akumulátorů

Napájecí systém bude mít napětí 24 V stejnosměrných, to znamená, že se dají

předpokládat značné Jouleovy ztráty, a proto je nutné s nimi počítat při dimenzování zdroje elektrické energie. Celková délka rozvodů pro rekuperaci bude 53 m a ty budou zhotoveny z mědi o průřezu 4 mm². Přívod pro oběhové čerpadlo bude mít 8m a stejný průřez. Měď má měrnou rezistivitu $\rho = 0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$. Z těchto údajů můžeme vypočítat Jouleovy ztráty na vedení, které jsou rovny $P = R \cdot I^2$. Kde odpor je roven $R = \rho \cdot l / s$.

$$R_r = \rho \cdot l / s = 0,0178 \cdot 53 / 4 = 0,24 \Omega$$

$$R_{o\check{c}} = 0,0178 \cdot 8 / 4 = 0,056 \Omega$$

Celkový proud napájecí větví pro rekuperaci je pak

$$P = U \cdot I \Rightarrow I_{r1} = P / U = 2 / 24 = 0,084 \text{ A}$$

$$P = U \cdot I \Rightarrow I_{r2} = P / U = 23 / 24 = 0,958 \text{ A}$$

Celkový proud napájecí větví pro oběhové čerpadlo

$$P = U \cdot I \Rightarrow I_{o\check{c}} = P / U = 15 / 24 = 0,625 \text{ A}$$

Jouleovy ztráty jsou pak:

$$P_{r1} = R_r \cdot I_{r1}^2 = 0,0017 \text{ W} = 1,7 \text{ mW}$$

$$P_{r2} = R_r \cdot I_{r2}^2 = 0,22 \text{ W} = 220 \text{ mW}$$

$$P_{o\check{c}} = R_{o\check{c}} \cdot I^2 = 0,022 \text{ W} = 22 \text{ mW}$$

Celkové Jouleovy ztráty jsou pak $\Delta P = 4 \cdot P_{r1} + 2 \cdot P_{r2} + P_{o\check{c}} = 468,8 \text{ mW} \approx 0,5 \text{ W}$. O tuto hodnotu musíme navýšit celkovou spotřebu. Pro dobu mimo otopné období budou Jouleovy ztráty o $P_{o\check{c}}$ nižší, tuto skutečnost si ale můžeme dovolit zanedbat a stále uvažovat stejné ztráty.

Určení potřebné energie pro akumulaci

Vycházíme z průměrné denní spotřeby energie v normálním a otopném období. Kdy oběhové čerpadlo má spotřebu 15 Wh a jedna jednotka vzduchotechniky 2 Wh při normálním provozu a 23 Wh při zvýšeném provozu. Zvýšený provoz vzduchotechniky nastává při zvýšeném výskytu osob v 1 místnosti nebo v kuchyni při vaření nebo v koupelně při využívání sprchy/vany. Vstupní hodnoty jsou zobrazeny v tabulkách č. 1 a č. 2.

čas [hod]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
spotřeba [Wh]	12	12	12	12	12	12	33	12	12	12	12	12
čas [hod]	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
spotřeba [Wh]	12	12	12	12	54	54	75	33	12	12	12	12

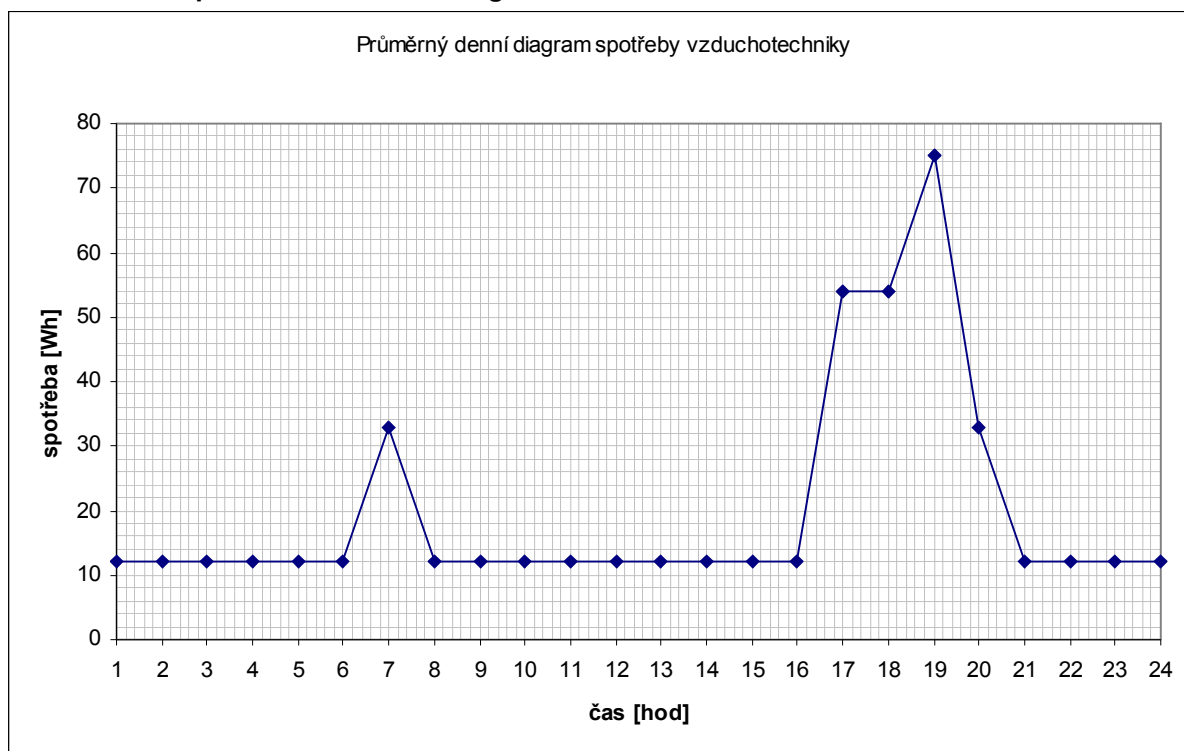
Tab 1 Spotřeba energie mimo otopné období – pouze za vzduchotechniku

čas [hod]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
spotřeba vzduch. [Wh]	12	12	12	12	12	12	33	12	12	12	12	12
spotřeba oč. [Wh]	15	15	0	0	0	15	15	0	0	0	0	0
spotřeba celkem [Wh]	27	27	12	12	12	27	48	12	12	12	12	12
čas [hod]	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
spotřeba vzduch. [Wh]	12	12	12	12	54	54	75	33	12	12	12	12
spotřeba oč. [Wh]	0	0	0	0	15	15	0	0	0	0	15	15
spotřeba celkem [Wh]	12	12	12	12	69	69	75	33	12	12	27	27

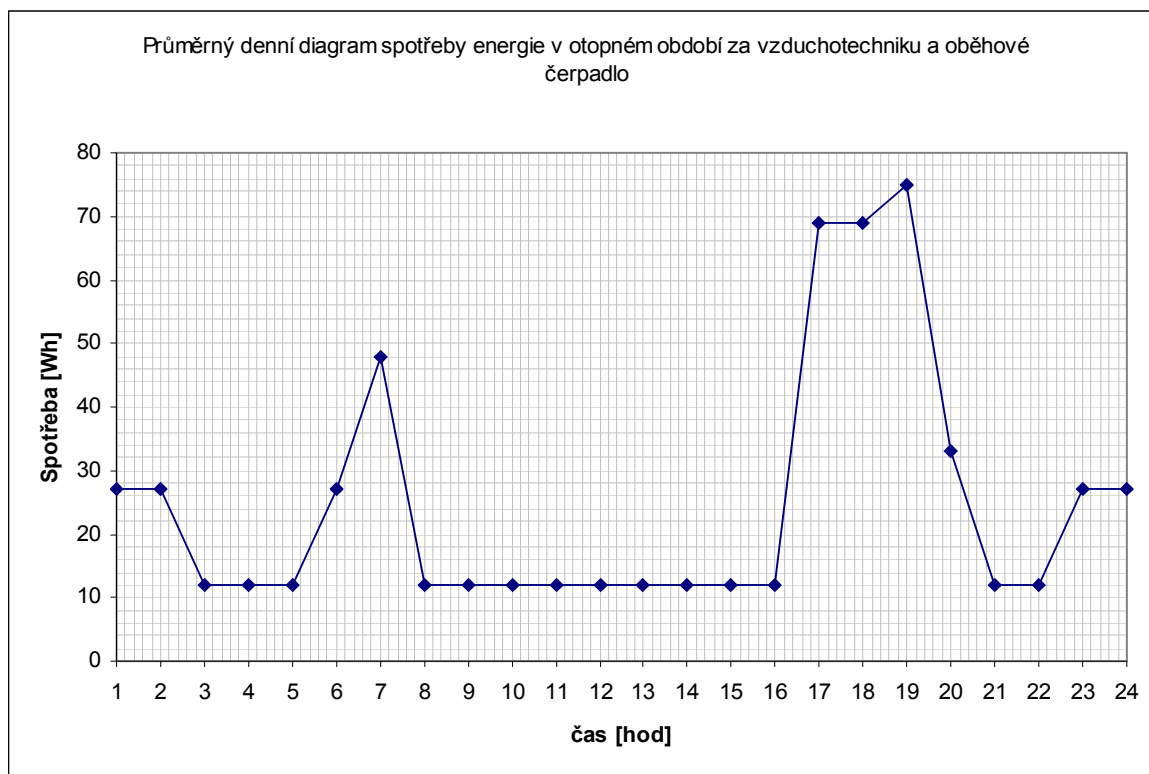
Tab 2 Spotřeba energie v otopném období

Celková spotřeba elektrické energie za den [Wh/den]	Jouleovy ztráty/den	Energie celkově	[J/den]	
mimo otopné období	477	12	489	1760400
v otopném období	597	12	609	2192400

Tab 3 Celková spotřeba elektrické energie za den



Obr. č. 9 Graf průměrného denního diagramu spotřeby vzduchotechniky



Obr. č. 10 Graf průměrného denního diagramu spotřeby v otopném období

3.3 Využití potenciální energie hmotného tělesa

Navrhovaný systém je mechanický, založený na fyzikálním zákonu zachování energie, v tomto případě zákonu potenciální energie. Skládá se z elektrického motoru, který přes převodovku zvedá do výšky hmotný objekt, zavěšený na laně ve vrtu. S rostoucí výškou roste i potenciální energie tělesa, která se dá potom zpětně využít. Při přivedení elektrické energie na motor se vykoná práce a zvýší se potenciální energie tělesa. V maximální výšce dojde k zajištění tělesa proti klesání pomocí elektronicky řízených západek. Těleso zůstane ve své maximální výšce, dokud nebude potřeba energii uvolnit. Před uvedením do vybíjecího stavu se vyjmou západky a těleso vlastní vahou bude roztáčet motor, který bude dále generovat elektrický proud.

3.3.1 Výpočet a návrh

Jako vstupní hodnoty je nutno uvažovat elektrický příkon vzduchotechniky a oběhového čerpadla a dobu, po kterou budou pracovat. Určení potřebné energie je vidět z tabulky č. 3. Pro uskladněnou energii je nutné započítat účinnost generátoru a převodovky, a o to upravit celou kapacitu systému.

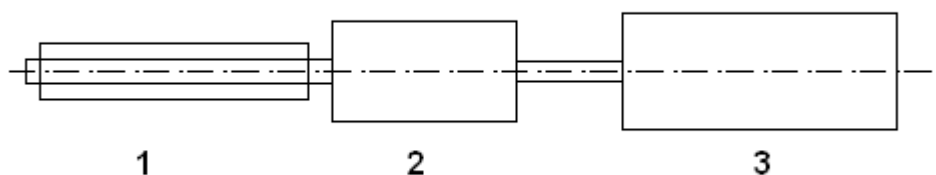
Jelikož je systém navržený tak, aby dodával elektrickou energii v době, kdy není nízký tarif, je nutné aby v době nízkého tarifu byl schopen doplnit zásobu energie,

tzn. nebude dodávat energii.

Zároveň není možné za provozu regulovat výstupní výkon generátoru, který je tedy konstantní a je nutné přebytečnou energii, která se hned nespotřebuje pro provoz vzduchotechniky a oběhového čerpadla, buď spotřebovat (přes měnič 24 V/ 230 V) jinde nebo uskladnit do elektrochemických akumulátorů a z nich dodávat energii v době, kdy se bude systém dobíjet. Akumulovat ale energie na “dvakrát” je pravděpodobně velmi nevýhodné, a proto je nejlepší jí využít hned. Proto je systém navržen tak, aby přebytečnou energii z generátoru využíval okamžitě např. provozem osvětlení, zabezpečovací techniky popř. jiných spotřebičů.

Schéma návrhu je vidět na obrázku. Uvažujeme účinnost generátoru 90 % a účinnost převodovky 90 %.

- Kde 1 ... naviják lana
 2 ... převodovka
 3 ... elektromotor



Obr. č. 11 Schéma navijecího zařízení s elektromotorem
 Celková nutná energie je pak E

Celková spotřeba elektrické energie za den [Wh/den]	Jouleovy ztráty/den	Energie celkově	[J/den]	
mimo otopné období	477	12	489	1760400
v otopném období	597	12	609	2192400

Tab 4 Celková spotřeba elektrické energie za den

A protože $E = F \cdot s$ pro pohyb kolmý k zemskému povrchu, lze vypočítat sílu, kterou musí těleso působit zpátky na rotor při zpětném chodu.

$$F = m \cdot g,$$

kde $g = 9,81$ a m je hmotnost tělesa.

Při uvažování rozumných konstrukčních prvků, je reálné spouštět toto břemeno např. do hloubkového vrtu 50 m.

Z předešlého vztahu můžeme tedy vypočítat

$$E_1 = m \cdot g \cdot h \Rightarrow m_1 = E_1 / (g \cdot s \cdot \eta) = 1760400 / (9,81 \cdot 50 \cdot 0,9 \cdot 0,9) = 4430,85 \text{ kg} = 4,431 \text{ t}$$

$$E_2 = m \cdot g \cdot h \Rightarrow m_2 = E_2 / (g \cdot s \cdot \eta) = 2192400 / (9,81 \cdot 50 \cdot 0,9 \cdot 0,9) = 5518,18 \text{ kg} = 5,518 \text{ t}$$

Není vhodné navrhovat systém jako systém s 2 hmotnými tělesy, ale pouze s jedním. Proto se volí hmotnost $m = 5,518 \text{ t}$, která je schopna dodávat energii v obou ročních obdobích.

Instalovaný generátor bude dodávat konstantní výkon po celou dobu, co bude možno využít pohyb tělesa. To znamená, že dojde k ukončení jeho provozu za dobu kratší než jen 1 den.

Ze vztahu $E = P \cdot t$ vyjádříme čas a dosadíme novou hmotnost do vztahu pro výpočet potenciální energie:

$$t = E / P = (m \cdot g \cdot h) / 120 = (5518 \cdot 9,81 \cdot 50) / 120 = 22554,8 \text{ s} = 375,9 \text{ min} = 6,26 \text{ hod.}$$

Z vypočítané doby provozu je nutné navrhnout navijecí zařízení a převodovku ke generátoru. Břemeno se totiž musí odvíjet z navijáku po celou dobu provozu. Vstupními hodnotami jsou tedy hloubka, tedy délka lana, h a doba odvíjení t .

$$t = 375,9 \text{ min}$$

$$h = 50 \text{ m}$$

$$v = 50 / 375,9 = 0,133 \text{ m/min,}$$

kde v představuje rychlost odvíjení navijáku.

Základní poloměr navijáku je 10cm z toho obvod navijáku je

$$O = \pi \cdot d = 3,14 \cdot 0,2 = 0,628 \text{ m}$$

Dále lze trojčlenkou spočítat rychlost odvíjení v otáčkách za minutu

$$0,133 : 0,628 = n_p : 1 \Rightarrow 0,21 \text{ ot/min,}$$

kde n_p je rychlost navijáku napojeného na převodovku. Rychlost na druhé straně převodovky je $n_g = 700 \text{ ot/min}$ neboť generátor je 8polový.

Lze tedy určit potřebný převodový poměr i

$$i = n_1 / n_2 = n_g / n_p = 700 / 0,21 = 3333,33$$

Výpočet kroutících momentů generátoru a navijáku

$$P = 2 \cdot \pi \cdot M \cdot n \dots \text{kde } n \text{ je v [ot/s] a } P \text{ v [kW]}$$

$$P = (M \cdot n) / 9550 \dots \text{kde } n \text{ je v [ot/min] a } P \text{ v [kW]}$$

Z toho tedy plyne

$$M_g = M_1 = 9550 \cdot P_1 / n_g = 9550 \cdot 0,12 / 700 = 1,637 \text{ Nm}$$

$$P_2 = \eta_p \cdot P_1 = 0,12 \cdot 0,9 = 0,108 \text{ kW} = 108 \text{ W}$$

$$M_2 = 9550 \cdot P_2 / n_p = 9550 \cdot 0,108 / 0,21 = 4911,4 \text{ Nm}$$

M_2 je tedy výsledný moment navijáku, který při navíjení vyvine motor díky převodovému poměru 3333,33 v převodovce. Zároveň pro jmenovitý výkon motoru je nutné, aby při odvíjení z navijáku působilo břemeno takovým momentem.

Naviják má poloměr 10 cm a je nutno přepočítat točivý moment pro toto rameno.

$$M_{k2} = F \cdot r = 4911,4 \cdot 0,1 = 491,14 \text{ Nm}$$

Vypočítaná hmotnost břemene však neodpovídá tomuto momentu

$$M_b = F \cdot r = m \cdot g \cdot r = 5518 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 5413,16 \text{ Nm}$$

Motor a převodovku je možno dimenzovat podle výkonů, převodového poměru nebo kroutícího momentu. Z níže uvedeného vzorce (při zanedbání účinnosti převodovky) je vidět, že není možno tedy zvýšit kroutící moment navijáku bez změny převodového poměru, čímž by se změnila otáčky motoru.

$$i = (n_1/n_2) = (M_1/M_2)$$

Při dodržení stanovených otáček motoru a převodového poměru lze pouze změnit hmotnost břemene, která by musela odpovídat M_{k2} resp. hmotnosti z toho přepočítané.

$$m = M_{k2}/(g \cdot r) = 491,14/(9,81 \cdot 0,1) = 500,65 \text{ kg}$$

Systém je tedy možno provozovat pro hmotnost břemene 500,65 kg, tato hmotnost však bude mít nižší potenciální energii, kterou lze pak přeměnit v motoru na energii elektrickou.

$$t = E/P = (m \cdot g \cdot h)/120 = (500,65 \cdot 9,81 \cdot 50)/120 = 2046,4 \text{ s} = 34,1 \text{ min}$$

Systém by tedy poskytoval elektrickou energii pouze po dobu přibližně 34 minut.

Pro dokončení předešlého zadání je nutné uvažovat další převodový stupeň za primárním, který má převod $i = 3333,33$. Ten je možné spočítat z poměru momentů M_{k2} a M_b , tedy z momentu nutného pro vypočítanou hmotnost 5518 kg a momentu za prvním stupněm převodovky.

$$i_2 = M_1/M_2 = 491,14/5413,16 = 0,091$$

Dále je možné spočítat výstupní otáčky druhého převodu, resp. nové otáčky navijáku.

$$i = n_1/n_2 = 0,21/0,091 = 2,3 \text{ ot/min}$$

Tedy při stále stejném navrhovaném obvodu navijáku $r = 10 \text{ cm}$ lze vypočítat nový

čas odvíjení.

$$1 \text{ ot} \dots 0,628 \text{ m}$$

$$2,3 \text{ ot} \dots 1,44 \text{ m} \Rightarrow 2,3 \text{ ot/min} = \text{posun } 1,44 \text{ m/min}$$

$$t = 50/1,44 = 34,7 \text{ min}$$

Systém by tedy s druhým stupněm převodů byl schopen pracovat již s takovou vahou, ale pouze po velmi omezený čas, tj. 34,7 min.

3.4 Využití potenciální energie vody

Jako druhý systém je navrhována přečerpávací elektrárna s mikroturbínou a zásobou vody na překlenutí období vysokého tarifu.

Mikroturbíny, stejně jako standardní velké turbíny, využívají spádu vody pro roztáčení oběžných kol, a tím vytváří točivý moment k pohonu dalších zařízení. Pokud má na společné hřídeli generátor elektrické energie, hovoříme o turboalternátoru. Svou konstrukcí jsou přizpůsobeny požadavkům na relativně malý výkon, malý spád vody a malý průtok pracovní látky, čímž skoro vždy je voda.

Pro uvažovaný systém byla vybrána mikroturbína Setur české výroby. Ta dokáže pracovat se spády od 3,5 do 20 m a průtoky 4 až 15 litrů vody za sekundu přičemž má běžně účinnost kolem 60 %.

Principem turbíny bez lopatek je tzv. hydrodynamický paradox. Tento je způsobuje to, že koule, či jiné nakřivené těleso, je přitahována ke straně o to víc, co mezi nimi proudí více kapaliny. Po vpuštění vody do turbíny dochází k nejrychlejšímu proudění vody mezi koulí a odvalovací hranou. Pokud by nastal stav, kdy by byla koule ideálně vprostřed, nic by se nedělo, protože by byla ze všech stran obtékána pravidelně. Koule je tedy účelně zavěšena pružně a voda vtéká do turbíny tangenciálně, čímž způsobí mírnou rotaci koule, s čímž ji udá i směr otáčení. Po tom, co je koule vychýlena z klidové polohy, vzniká v místě, kde je blíže ke stěně, vyšší rychlost proudění, a zároveň dochází k poklesu tlaku. Okolní tlak způsobí, že je koule vychylována do místa, kde je tlak nižší, tj. do míst, kde voda proudí rychleji. Díky tomu se koule záhy přitiskne ke stěně, čímž mezi stěnkou a koulí vzniká otvor srpovitého tvaru. Díky proudům začne koule rotovat a začne se odvalovat po vnitřní straně nádoby. Ve směru proudění se před koulí štěrbina uzavírá, což má za následek to, že vody v těchto místech proudí rychleji a koule je díky tomu kontinuálně

přisávána ke stěně ve směru již započatého valení. Takto je udržována proudící vodou v pohybu. energii valící koule zachycuje pružná hřídel, která jí předává dál.

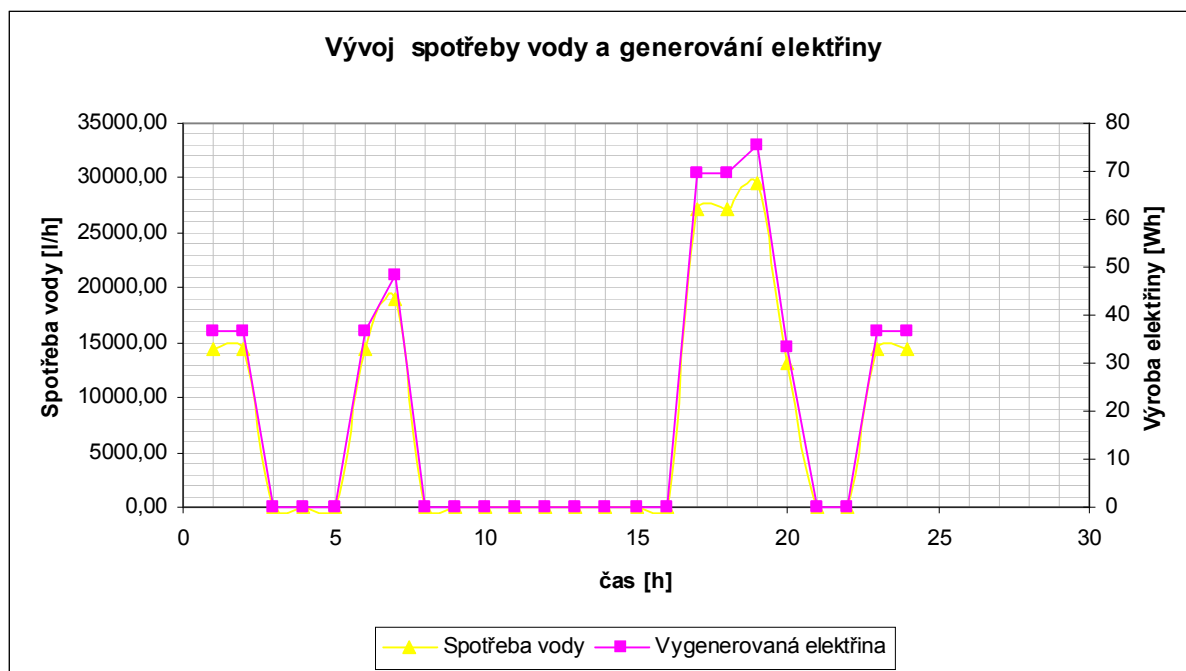
Výpočet

Požadavky na systém jsou stejné ve variantě A. Vycházíme opět z celkové denní spotřeby. Turbína má za úkol dodávat elektrickou energii pro oběhové čerpadlo a vzduchotechniku v RD po stanovenou dobu. Systém se skládá z vodního zásobníku na vodu, mikroturbíny, spodní nádrže na vodu a čerpadla. Ze zásobníku s vodou ve výšce h se odebírá voda pro provoz mikroturbíny, ta pohání elektrický generátor 24 V a výkonu 120 W. Po vyčerpání vody dochází k přerušení provozu. Čerpadlo, které opět přepravuje vodu do horního zásobníku, zapíná až při přítomnosti nízkého tarifu a je nutné, aby doplnilo zásobu vody v horním zásobníku.

Celkovou potřebu energie resp. vody získáme integrací spotřeby energie během celého dne - viz tabulka 5.

čas [h]	příkon vzduchotechniky [Wh]	příkon OČ [Wh]	celkem [Wh]	celkem + JZ [Wh]	průtok [l/s]	spotřeba vody [l/h]	Vygenerovaná elektřina [Wh]
1	12	15	27	27,5	4,00	14400,00	36,77279
2	12	15	27	27,5	4,00	14400,00	36,77279
3	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
4	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
5	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
6	12	15	27	27,5	4,00	14400,00	36,77279
7	33	15	48	48,5	5,28	18992,31	48,5
8	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
9	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
10	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
11	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
12	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
13	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
14	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
15	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
16	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
17	54	15	69	69,5	7,56	27215,78	69,5
18	54	15	69	69,5	7,56	27215,78	69,5
19	75	0	75	75,5	8,21	29565,34	75,5
20	33	0	33	33,5	3,64	13118,40	33,5
21	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
22	12	0	12	12,5	0,00	0,00	0
23	12	15	27	27,5	4,00	14400,00	36,77279
24	12	15	27	27,5	4,00	14400,00	36,77279
Celkem				609	Celkem	188107,61	480,3639
					Celkem	188,11 m ³	

Tab 5 Spotřeba vody v mikroturbíně



Obr. č. 12 Graf vývoje spotřeby vody a vygenerované elektřiny

Jak je vidět z tabulky č. 5 a grafu na obr. č. 12, turbína nebude zapínat vždy. Její minimální výkon pro minimální průtok vody 3,5 l/s a minimální spád 4 m je $P = 36,7$ W. Proto není vhodné, aby zapínala i v časech, kdy potřebný výkon je několikanásobně nižší. Zapínací výkony byly stanoveny od $P = 27,5$ W výš. Kdy přebytečný rozdíl mezi spotřebou a dodávaným výkonem z turbíny je odváděn do jiných systémů.

Z výše uvedeného je vidět, že bude potřeba celkového množství $188,11$ m³ vody, kdy podle požadovaného výkonu se bude měnit průtok turbínou od 4 l/s až po 8,21 l/s.

Elektrický výkon vodní turbíny se vypočte jako: $P_{EL} = g * Q * H * h_M * h_G * p_{rf}$, kde

g je gravitační konstanta 9,81

H je vodní spád [m]

Q je průtok [l/s] pak:

h_M je mechanická účinnost turbíny = 0,7

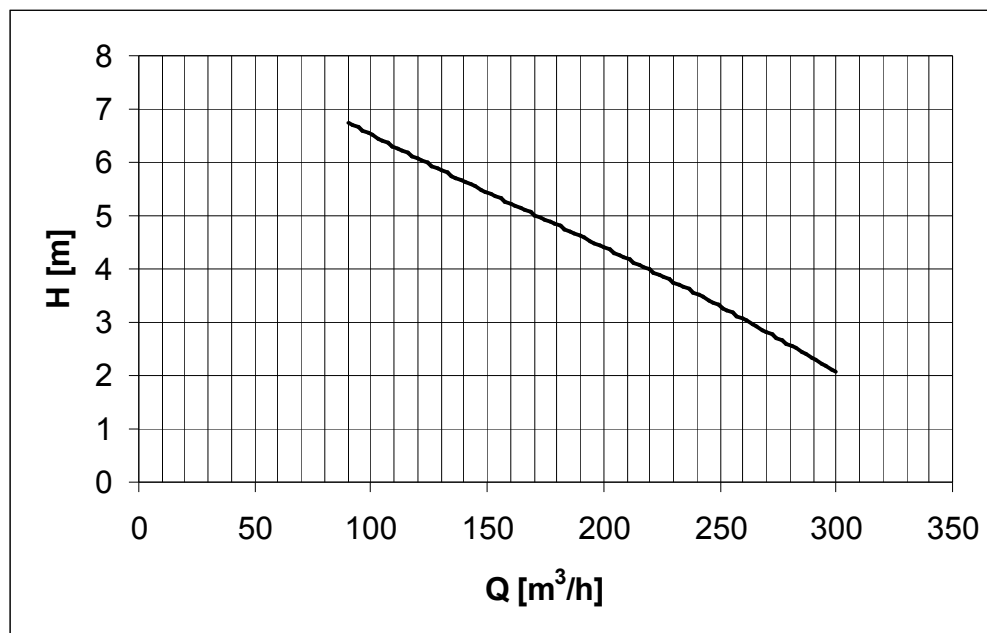
h_G je účinnost generátoru = 0,5

p_{rf} je koeficient hydraulických ztrát přívodního potrubí = 0,765.

Jelikož turbína není konstruována jako přečerpávací, musí přečerpávací činnost vykonávat vodní čerpadlo, které doplní vodu zpátky do zásobníku. Pro každou variantu bylo vybráno odpovídající čerpadlo. Bylo vybráno ponorné vrtulové čerpadlo

HCP typ L-200a 400 V s příkonem 5,5 kW. Z přiložené charakteristiky je vidět, že čerpadlo zvládne přečerpát do výšky 4 m 220 m³ vody za dobu 1h. Lze vypočítat dobu, za kterou čerpadlo přečerpá celý objem zpátky do zásobovací nádrže, aby systém mohl dále pracovat.

$$t=V/P_{\text{sací}}=188,11/220=0,85 \text{ h} = 51,3 \text{ min}$$



Obr. č. 13 Graf průtočného množství čerpadla [25]

3.5 Využití přímé akumulace elektrické energie pomocí elektrochemických akumulátorů

Jako třetí varianta byla zvolena akumulace do elektrochemických akumulátorů. Díky velkému boomu fotovoltaických panelů došlo také k velkému vývoji elektrochemických článků, což má za následek uvedení na trh tzv. solárních akumulátorů. Jedná se stále ve své podstatě jen o obyčejné olovené akumulátory, které však mají vylepšené provozní parametry např. samovybití, počet nabíjecích cyklů a životnosti.

Byly zvoleny díky relativně nízkým pořizovacím nákladům, jednoduché instalaci a malým nárokům na prostor, neboť předešlé 2 varianty jsou velmi náročné na prostor a realizaci. Akumulátory jsou zdrojem stejnosměrného napětí, což je velmi výhodné, neboť vzduchotechnika i oběhové čerpadlo pracují na napětí 24 V stejnosměrných. Jsou použity 12 V akumulátory, pro dosažení napájecího napětí 24 V je nutné vždy zapojit 2 akumulátory sériově za sebou pro danou větev.

Akumulátorové články budou nabíjeny a řízeny pomocí regulátoru nabíjení pro solární techniku. Akumulátory se budou nabíjet energií z elektrické sítě při

dostupnosti nízkého tarifu a vybijet v době, kdy bude sepnut vysoký tarif.

3.5.1 Výpočet

Již bylo stanoveno, že denní spotřeba energie pro vzduchotechniku a oběhové čerpadlo bude 609 Wh.

$$A_d = 609 \text{ Wh/den}$$

Nutnou kapacitu akumulátoru vypočteme ze vztahu

$$C_A = \text{Celková očekávaná denní spotřeba} / \text{systemové napětí} = A_d / U_{\text{sys}}$$

$$C_A = 609 / 24 = 25,38 \text{ Ah}$$

Tato kapacita však nerespektuje šetrný provoz akumulátoru, a pro ten je nutné dodržet hloubku vybití alespoň 50%. Proto volíme koeficient hloubky vybití $h_v = 0,5$. Skutečná kapacita akumulátoru tedy bude:

$$C = C_A / h_v$$

$$C = 25,38 / 0,5 = 50,75 \text{ Ah}$$

Ve skutečnosti pro realizaci volíme akumulátor s nejbližší vyšší kapacitou. Volíme tedy akumulátor VB60-12 s kapacitou 60 Ah při C20. Pro dosažení napájení $U = 24 \text{ V}$ musíme sériově spojit tyto 2 akumulátory za sebou.

Parametry akumulátoru VB60-12

Požítá technologie	VRLA
Životnost	10 let
hmotnost	24 kg
rozměry	d/š/v 258/166/206 mm
Jmenovité napětí	12 V
max nabíjecí proud	18 A

Tab 6 Parametry akumulátoru VB60-12

Nabíjení akumulátorů bude zajišťováno pomocí 2 nabíječek autobaterií Absaar 22Amp 12/24V 900016 v režimu 12 V, kdy každý akumulátor bude připojen na jednu nabíječku.

Parametry nabíječky Absaar

Určeno pro:	olověné a AGM akumulátory
Napájení:	230V (30 – 225 Ah) - funkce rychlého startu (180A)
Pro baterie o napětí:	12V a 24V
Rozměry:	370x170x230 mm

Tab 7 parametry nabíječky Absaar

4 Ekonomické zhodnocení

V této části bude proti sobě postavena ekonomická výhodnost navrhovaných variant z pohledu počátečních a provozních nákladů a návratnosti. Varianta využití potenciální energie hmotného tělesa nebude uvažována, neboť její nevržení se zadanými parametry není možné. Pro obě zbylé varianty se bude uvažovat cena elektrické energie z ceníku společnosti ČEZ, viz příloha B.

4.1 Investiční a provozní náklady

Do investičních nákladů se započítávají náklady na výkopové a zemní práce, materiál, stroje a zařízení.

4.1.1 Varianta využití potenciální energie vody

V tabulce jsou znázorněny náklady na výstavbu

název položky	množství	jednotková cena [Kč]	cena bez dph [Kč]	cena s dph [Kč]
Domácí vodní elektrárna DVE 120 se základní generátorem 120 W	1	28438	28438	34125,6
kabely Cu SIHF2X4 4mm ²	57m	96	288	345,6
Ventilátor Lo-Carbon HR25LH	6	10190	61140	73368
oběhové čerpadlo D5 vario 700 B	1	4850	4850	5820
InsightHome Ovládání světel a žaluzií inRemote	1	42000	42000	50400
InsightHome Úsporná regulace topení inSavings	1	38000	38000	45600
InsightHome Zabezpečení inSecurity	1	40000	40000	48000
Vrtulové čerpadlo HCP typ L-200a	1	46000	46000	55200
výkopové a zemní práce				
Bagr JCB MIN nasazení 1 Den	1		4050	4860
beton s dovozem 20km	16,5m ³	22886	22886	27234
potrubí, ohyby			5160	6192
cena práce			12000	14400
vodní nádrž 181m ³ ocelová	1	158000	158000	189600
konstrukce pro nádrž	1	45000	45000	54000
Celkem				609145,2

Tab 8 Rozpis nákladů na výstavbu

Dále je nutné počítat se servisními pracemi.

název položky	cena bez dph [Kč]	cena s dph [Kč]
servis vodní elektrárny DVE 1*5 let	1500	1800
výměna generátoru DVE 1*20let	12000	14400
sevis vrtulového čerpadla HCP 1*5let	1700	2040
Výměna vrtulového čerpadla HCP 1*20 let	46000	55200

Tab 9 Servisní práce pro systém s mikroturbínou

Jako další je nutné uvažovat spotřebu elektrické energie systému. Tedy spotřebu vrtulového čerpadla, které bude mít za úkol doplňovat zásoby vody. Množství vody je spočítané na celodenní provoz, tedy na 24 h. Čerpadlo bude v době nečinnosti turbíny dočerpávat do maximálního stavu vodní hladiny v horní nádrži. Tedy za celý den přečerpá celý obsah nádrže, tj 188m³. To mu bude trvat 51,3 min při příkonu 5,5 kW.

Čerpadlo tedy spotřebuje za 1 h energii 5,5 kWh.

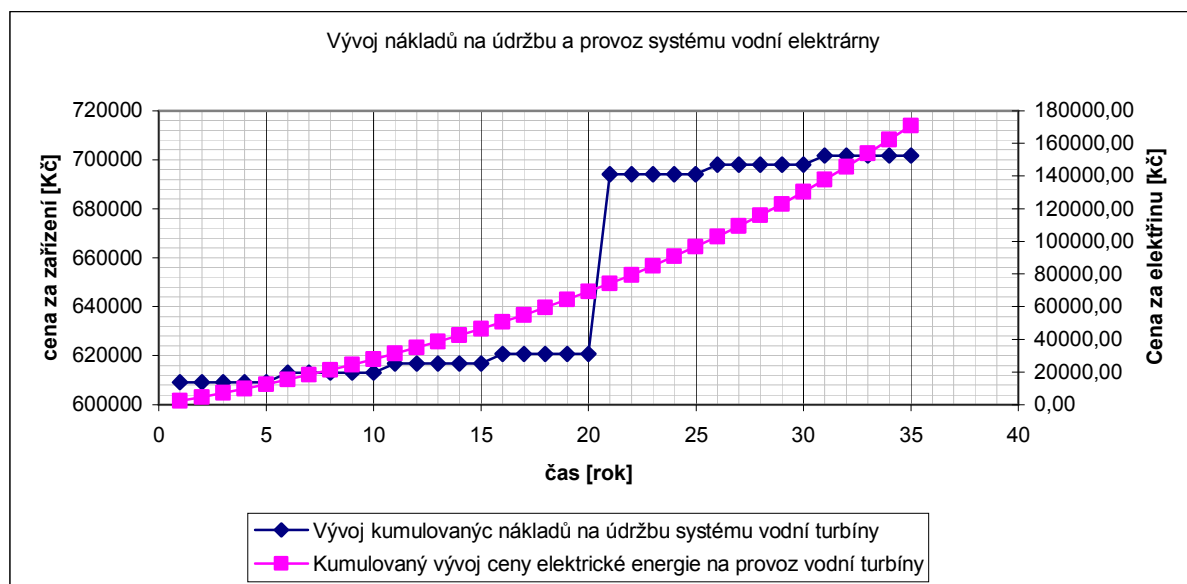
Za dobu 51,3 min to je:

$$E = P \cdot t = 5500 \cdot (51,3 \cdot 60) = 4702,5 \text{ Wh}$$

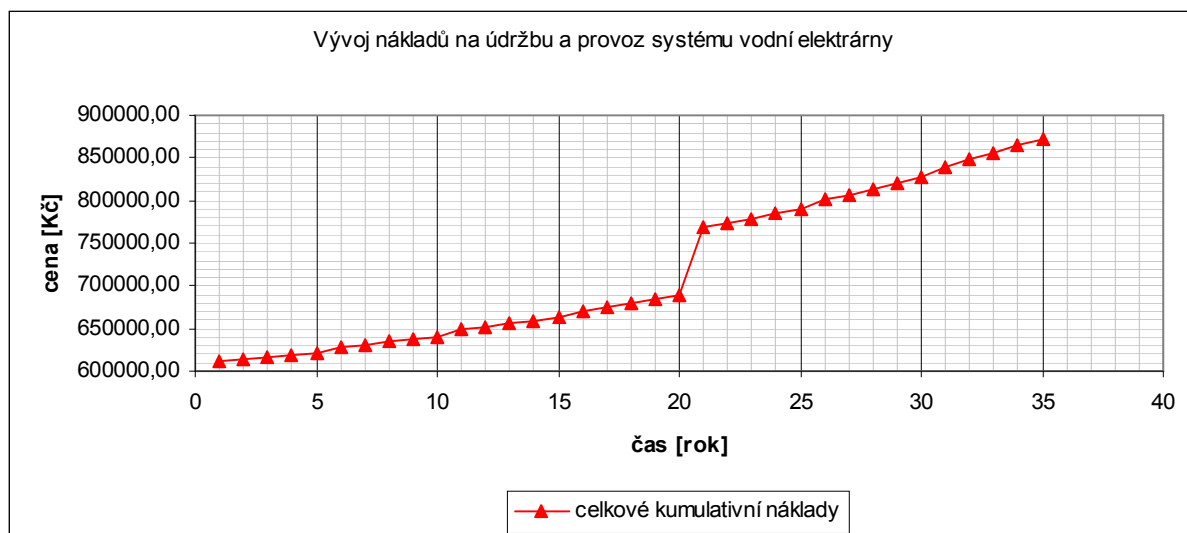
Spotřeba za rok činí 1716,413 kWh = 1,72 MWh

Spotřeba za 35 let je 60,2 MWh

Vývoj v čase lze vidět na následujícím grafu



Obr. č. 14 Graf vývoje kumulativních nákladů systému s vodní mikroelektrárnou



Obr. č. 15 Graf vývoje celkových kumulativních nákladů systému s vodní mikroelektrárnou

Celkové náklady za 35 let jsou **872 797,9 Kč** kde 701 758,2 Kč je za údržbu a obnovu systému a 171 012,7 Kč stojí elektrická energie, kterou spotřebuje čerpadlo. Cena elektřiny je uvažována s meziročním růstem ceny 4%.

K porovnání musíme vypočítat cenu, za kterou by se dala provozovat vzduchotechnika a oběhové čerpadlo bez akumulace energie.

Tabulka pořizovacích nákladů

název položky	množství	jednotková cena [Kč]	cena bez dph [Kč]	cena s dph [Kč]
kabely Cu SIHF2X4 4mm2	57m	96	288	345,6
Ventilátor Lo-Carbon HR25LH	6	10190	61140	73368
oběhové čerpadlo D5 vario 700 B	1	4850	4850	5820
InsightHome Ovládání světel a žaluzií inRemote	1	42000	42000	50400
InsightHome Úsporná regulace topení inSavings	1	38000	38000	45600
InsightHome Zabezpečení inSecurity	1	40000	40000	48000
Celkem				223533,6

Tab 10 Náklady na systém bez akumulace

Celková denní spotřeba je vypočítána na 609 Wh.

Za rok je tato spotřeba 222285 Wh = 222,285 kWh = 0,22 MWh

Za 35 let bude spotřeba 7,7 MWh.

Při rovnoměrné rozložení spotřeby energie připadá na vysoký tarif 66 % této spotřeby a na nízký 34 %. Dáno trváním obou tarifů během dne 8:16 h.

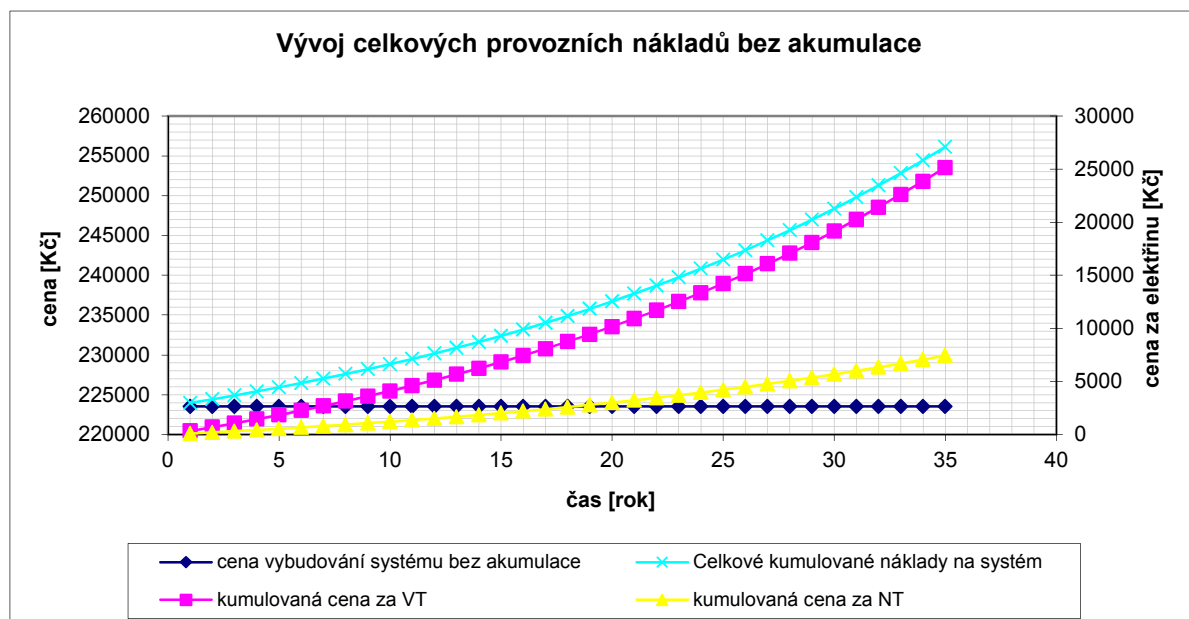
Cena elektrické energie za rok je tedy:

VT: $0,22 \cdot 0,66 = 0,1452$ MWh $\Rightarrow 0,145 \cdot 2351,16 = 341,4$ Kč

NT: $0,22 \cdot 0,34 = 0,0748$ MWh $\Rightarrow 0,0748 \cdot 1352,76 = 101,186$ Kč

Opět při uvažování meziročního růstu cen elektřiny 4% nám vyjde celková cena

spotřebované elektřiny za 35 let, viz následující obr. č. 15



Obr. č. 16 Graf vývoje kumulativních nákladů systému s bez akumulace

Celkové náklady za 35 let vycházejí jako součet počátečních nákladů na zařízení, tj. 223 533,6 Kč a spotřeby elektrické energie pro chod vzduchotechniky a oběhového čerpadla, tj. 32 596,62 Kč. Celkově tedy **256 130,22 Kč**.

Z porovnání obou hodnot nákladů je vidět, že navrhovaný systém s akumulací energie se prodraží proti běžnému provozu zhruba 3,5 krát. Největším problémem navrhovaného systému je spotřeba doplňovacího čerpadla, které na přečerpání nádrže s vodou spotřebuje přibližně 4700 Wh proto, aby následným provozem mikroturbíny bylo vyrobeno 609 Wh.

4.2 Varianta využití přímé akumulace elektrické energie pomocí elektrochemických akumulátorů

Nejdřív se vypočtou náklady na provoz celého systému s akumulací. V tabulce č. 11 je opět vidět seznam potřebného materiálu pro realizaci systému.

název položky	množství	jednotková cena [Kč]	cena bez dph [Kč]	cena s dph [Kč]
Akumulátor VB60-12	2	2933,33	5866,66	7039,992
kabely Cu SIHF2X4 4mm ²	57m	96	288	345,6
Ventilátor Lo-Carbon HR25LH	6	10190	61140	73368
oběhové čerpadlo D5 vario 700 B	1	4850	4850	5820
InsightHome Ovládání světel a žaluzií inRemote	1	42000	42000	50400
InsightHome Úsporná regulace topení inSavings	1	38000	38000	45600
InsightHome Zabezpečení inSecurity	1	40000	40000	48000
Nabíječka akumulátorů Absaar	2	2708,33	5416,66	6499,992
Celkem				237073,6

Tab 11 Náklady na systém s akumulací do akumulátorů

Opět se musí započítat servisní náklady. V tomto případě uvažujeme životnost akumulátorů 10 let a s tejnou dobou u nabíječek.

název položky	cena bez dph [Kč]	cena s dph [Kč]
Výměna akumulátoru VB60-12 1*10let	5866,66	7039,992
Výměna nabíječky akumulátorů Absaar 1*10let	5416,66	6499,992
Celkem		13539,98

Tab 12 Servisní náklady na systém s akumulátory

V současné době lze považovat nabíječky s nižší účinností než 90% jako velmi nevyhovující, v praxi se lze spíše setkat s nabíječkami s udávanou účinností 93-95 %. Uvažujeme účinnost nabíječky 90 %.

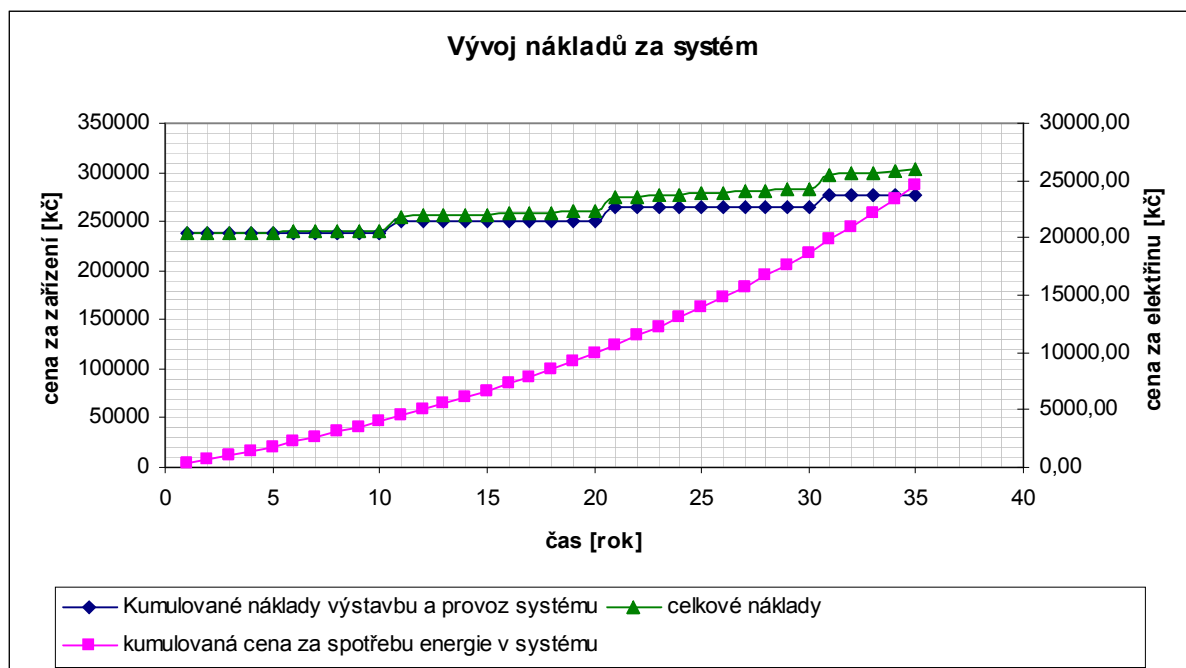
Z toho plyne, že pro vypočítanou spotřebu 609 Wh bude potřeba 676,66 Wh dodané nabíječkou do akumulátoru. S touto spotřebou nabíječky je nutno počítat při cenové kalkulaci. Zároveň je opět uvažován meziroční nárůst cen elektrické energie o 4 %.

Celková denní spotřeba je vypočítána na 676,66 Wh.

Za rok je tato spotřeba 246980,9 Wh = 246,98 kWh = 0,247 MWh.

Za 35 let bude spotřeba 8,645 MWh.

Z grafu je vidět vývoj nákladů za 35 let provozu této varianty akumulace energie.



Obr. č. 17 Graf vývoje kumulativních nákladů systému s olověnými akumulátory

Celkové kumulované náklady za 35 let činí **302 301,2 Kč**. Z této částky představují náklady na zařízení a jeho údržbu 277 693,5 Kč a za spotřebu elektrické energie 24 607,7 Kč.

Tuto částku lze porovnat s hodnotou, která již byla vypočítána pro předešlý případ neboť, systém bez akumulace se nijak nezměnil. Tedy cena za 35 let provozu systému s akumulací, je **302 301,2 Kč** a cena za provoz systému bez akumulace je **256 130,22 Kč**. Je vidět, že ani tato varianta akumulace energie není výhodná, neboť je vyšší než cena za spotřebu elektrické energie přímo ze sítě i na vysoký tarif.

Za předpokladu, že všechny stavební prvky (ocel, plasty) a zařízení jsou recyklovatelné (díky zpětnému odběru elektrotechnických zařízení), lze hodnotit všechny varianty pouze z ekonomického hlediska. Pouze u varianty s elektrochemickými akumulátory je nutno dbát na jejich nezávadné zlikvidování. U variant využití potenciální energie je navíc problém se zabraným prostorem popř. s výkopovými pracemi, které mění ráz okolí.

5 Závěr

V teoretické části jsem poukázal na některé výhody ND, a zároveň popsal perspektivní technologie akumulace energie. Tyto způsoby zahrnovaly akumulaci, jak za účelem následného získávání tepla, tak i získávání elektrické energie. Z teoretické části se určitě dá usuzovat, že pro domácí použití bude jedinou možností akumulace energie tepelné.

V praktické části jsem se pokusil toto vyvrátit navržením 3 systémů akumulace elektrické energie. Systémy byly navrhovány vždy tak, aby akumulovaly elektrickou energii v době nízké sazby tarifu elektřiny a dodávaly ji v době sazby vysoké. Snažil jsem se navrhovat s ohledem na reálné možnosti konstrukčních prvků a prostorových reálií kolem objektu.

Za předpokladu, že čím větší bude požadavek na uskladněnou energii, tím bude mnohem větší náročnost na požadovaný prostor, jsem volil pro akumulaci pouze malé množství energie. Toto množství by v reálném provozu mělo opodstatnění pravděpodobně pouze za velmi nízkých cen materiálu a zařízení, neboť to se ukázalo jako limitující faktor. Investiční náklady, hlavně v případě akumulace pomocí potenciální energie vody, byly velmi vysoké. Zároveň by musel být rozdíl ceny mezi nízkým a vysokým tarifem mnohem větší, aby se vyplatilo si těmito způsoby akumulovat levnou elektřinu, a poté jí spotřebovávat v době, kdy elektřina by byla podstatně dražší.

Jak jsem spočítal, první varianta, využití potenciální energie hmotného tělesa, by dle zadaných parametrů šla realizovat, ale pouze pro velmi krátký provoz. Druhá varianta je příliš nákladná, jak investičně, tak na provoz a ani po 35 letech nedosahuje návratnosti. Jako poslední variantu jsem vybral možnost akumulace do olověných akumulátorů. Podle výsledků, tato varianta také nebyla schopna ani po 35 letech provozu dosáhnout jakékoliv návratnosti projektu. Ovšem jako jediná se tomu aspoň blížila a za předpokladu většího rozdílu mezi NT a VT by byla konkurence schopná mezi ostatními technologiemi.

V práci se mi nepodařilo prokázat výhodnost použití akumulace elektrické energie pro ND. Dále z faktu, že akumulace tepla se běžně používá, se dá usuzovat, že na poli akumulace energie vítězí akumulace tepla. Do budoucna by se dalo očekávat, že i akumulace elektrické energie dostane zásadních změn a vývoje, protože v rámci přenosových a distribučních sítí, je akumulace elektrické energie v současné době aktuálním tématem. Pokud se tedy podaří vyvinout systém akumulace pro komerční velké projekty, je velmi pravděpodobné, že domácí využití na sebe nenechá dlouho čekat.

Použitá literatura a zdroje

Knihy a ostatní

- [1] TYWONIAK, Jan.: *Nízkoenergetické domy - principy a příklady*, Grada Publishing, ISBN: 80-247-1101-x
- [2] BÍLÝ, Tomáš.: *Bakalářská práce – Návrh nízkoenergetického domu*
- [3] BÍLÝ, Tomáš.: *Semestrální práce – KEE/PIR Návrh elektroinstalace jednogeneračního rodinného domu*
- [4] A-Z Elektro č. 2/2011

Webové zdroje

- [5] <http://www.geminox.cz>
- [6] http://technet.idnes.cz/cez-zkouma-skladovani-elektřiny-pod-zemi-podivejte-se-jak-to-funguje-1jd-/tec_tecnika.aspx?c=A091022_140139_tec_tecnika_rja
- [7] <http://www.nazeleno.cz/energie/vetrna-energie/vetrne-elektřarny-v-nemecku-komplikuji-situaci-v-cr.aspx>
- [8] <http://www.itnews.sk/tituly/bz/free-clanky/2010-06-18/c134299-bz-nanotechnologie-okolo-nas>
- [9] <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektřiny>
- [10] <http://www.tzb-info.cz/1482-akumulace-tepelne-energie-fyzikalni-principy>
- [11] http://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/cez_cz_ele_cenikmoo_2012_silovka-comfort_web.pdf
- [12] <http://vytapani.tzb-info.cz/8326-teploty-v-praze-v-roce-2011>
- [13] http://www.tme.eu/cz/katalog/jednozilove-kabely-silikonove_100566/?search=4mm2#id_category=100567&page=1
- [14] <http://www.ventilace.cz/rekuperacni-jednotky-nastenne-HR25-LH.htm>
- [15] <http://www.horvat-vykopy.cz/clanky/5-cenik.html>
- [16] <http://www.btn.cz/kalkulace>
- [17] <http://www.gascontrolplast.cz/ceniky/vodovod.pdf>
- [18] <http://www.futuremotion.cz/emobility/cs/novinky/2632.html>
- [19] <http://leeftech.blogspot.com/2011/07/nove-technologie-akumulace-energie.html>
- [20] http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=42869
- [21] http://www.enviros.cz/palivove-clanky/3_vyuziti_palivovych_clanku.html
- [22] <http://www.simsonviglu.cz/?sekce=motor&clanek=29>
- [23] <http://www.auto-doplňky.com/nabijacka-autobaterii-absaar-22amp-12-24v-900016.html>
- [24] <http://www.behounek.eu/news/novela-dph-2012/>
- [25] http://www.k-h.cz/ponorna_cerpadla_s_velkym_prutokem_1.html
- [26] <http://www.setur.cz/index.asp?dokument=36&sablona=9999>
- [27] http://www.ecoshop.cz/vyrobek/420/0_cerpadla-12v-24v/
- [28] <http://www.krizikova.eu/katalog/inHome-chytry-byt-za-2-dny.pdf>
- [29] <http://files.solfoton.eu/200000684-1fd5120cf5/6FM60.pdf>
- [30] <http://www.futuremotion.cz/smartgrids/cs/vrchlabi.html>
- [31] http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQyeWJD5Y7ziLAXCFcBgQ7zBRHj_idUSHCqPBtANr8jYz24smM4BQ

Přílohy

Seznam příloh

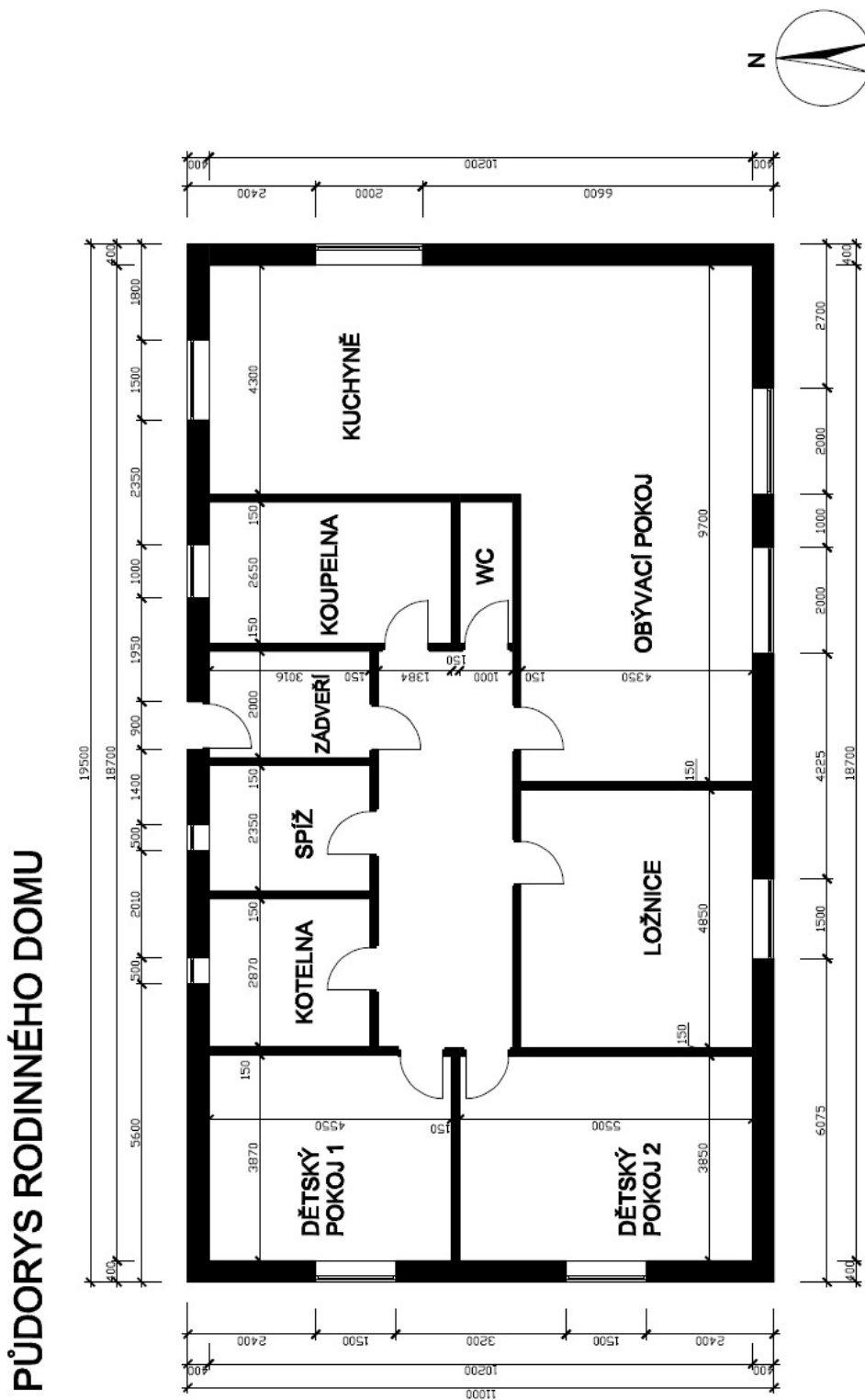
Příloha A – Půdorys nízkoenergetického domu

Příloha B – Ceník silové elektřiny ČEZ Prodej, s.r.o

Příloha C – Datasheet Akumulátor VB60-12

Příloha D – Výňatek z práce : Bílý, T.: Semestrální práce – KEE/PIR Návrh elektroinstalace jednogeneračního rodinného domu

Příloha A



Vlastní vypracování, 2010

Příloha B

ceny produktů silové elektřiny ČEZ Prodej, s. r. o. | domácnosti | produktová řada Comfort

účinné od 1. 1. 2012 | uváděny v Kč bez daně z elektřiny a DPH (v závorce orientační ceny s DPH)

*jednotková cena silové elektřiny je před započtením DPH navýšena o daň z elektřiny

PRODUKTY ROKU 2012				
ODPOVÍDAJÍCÍ DISTRIBUČNÍ SAZBY	PEVNÁ CENA ZA MĚSÍC	CENA ZA MWh*		POZNÁMKY
		VT	NT	
D Standard COMFORT D01d, D02d	50,00 (60,00)	1 535,00 (1 875,96)	-	Jednotarifový produkt pro běžně vybavené odběrné místo (OM). Tento produkt je vhodný pro OM s nižší spotřebou elektřiny jako například menší domácnosti, chaty, garáže (v kombinaci s distribuční sazbou D01d), ale i pro energeticky náročnější domácnosti, kde se elektrina nepoužívá k vytápění a ohřevu TUV (se sazbou D02d).
D Akumulace 8 COMFORT D25d, D26d	50,00 (60,00)	1 931,00 (2 351,16)	1 099,00 (1 352,76)	Dvoutarifový produkt – vysoký (VT) a nízký tarif (NT). Doba platnosti NT je řízena prostřednictvím hromadného dálkového ovládání (HDO). Podmínkou je instalace akumulčního elektrického spotřebiče pro vytápění nebo ohřev vody. Odběratel zajistí technické blokování akumulčních spotřebičů v dobách platnosti VT.
D Akumulace 16 COMFORT D35d	50,00 (60,00)	2 014,00 (2 450,76)	1 389,00 (1 700,76)	Dvoutarifový produkt – vysoký (VT) a nízký tarif (NT). Doba platnosti NT je řízena prostřednictvím hromadného dálkového ovládání (HDO). Podmínkou je instalace elektrického vytápění objektu. Odběratel zajistí technické blokování akumulční části v dobách platnosti vysokého tarifu.
D Přímotop COMFORT D45d	50,00 (60,00)	1 809,00 (2 204,76)	1 541,00 (1 883,16)	Dvoutarifový produkt – vysoký (VT) a nízký tarif (NT). Doba platnosti NT je řízena prostřednictvím hromadného dálkového ovládání (HDO). Podmínkou je instalace přímotopných elektrických spotřebičů v objektu. Odběratel zajistí technické blokování topných elektrických spotřebičů v dobách platnosti vysokého tarifu.
D Tepelné čerpadlo COMFORT D55d, D56d	50,00 (60,00)	1 613,00 (1 969,56)	1 542,00 (1 884,36)	Dvoutarifový produkt – vysoký (VT) a nízký tarif (NT). Doba platnosti NT je řízena prostřednictvím HDO. Podmínkou užití produktu je řádná instalace a užívání systém vytápění s tepelným čerpadlem, jehož výkon odpovídá tepelným ztrátám vytápěného objektu. Odběratel zajistí technické blokování topných elektrických spotřebičů v dobách platnosti VT.
D Víkend COMFORT D61d	50,00 (60,00)	1 724,00 (2 102,76)	1 406,00 (1 721,16)	Dvoutarifový produkt – vysoký (VT) a nízký tarif (NT) – s víkendovým režimem. Doba platnosti nízkého tarifu (NT) je stanovena celoročně od pátku 12:00 hodin do neděle 22:00 hodin.

podmínkou pro výběr příslušného produktu je přiznaná odpovídající distribuční sazba | **MWh** – megawatthodina (1 MWh – 1 000 kWh) | **VT** – vysoký tarif | **NT** – nízký tarif | sazba **DPH** je 20% | výše daně z elektřiny je 28,30 Kč/MWh | produkt silové elektřiny je možno měnit pouze 1× za 12 měsíců

Toto je ceník společnosti **ČEZ Prodej, s. r. o.**, IČ 27232433, zapsané v obchodním rejstříku vedeném Městským soudem v Praze, oddíl C, vložka 106349.

Příloha C



VISION
VISION Rechargeable Products
Sealed Lead Acid Battery
www.vision-batt.com

FM Series

General purpose application
 VISION FM series are designed for general purpose applications, such as UPS, telecom, electrical utilities.

With 10 years design life, the batteries comply to the most popular international standards, such as IEC896-2, BS6290-4, Eurobat Guide.

The battery container and cover are available both in V0 class flame retardant ABS or HBO ABS plastics.

Shenzhen Center Power Tech Co., Ltd. has come to obtain wide recognition from customers all over the world. This is not only due to the fact that our products are featured by reliable stability in quality, but also because we attach great importance to our communication with customers and our perfect understanding of customers' requirements as well.

Shenzhen Center Power Tech. Co., Ltd

(Edition June 2004)

6FM60-X 12V 60Ah

General Features

- Positive and negative plates in lead-calcium-tin alloy
- Stable Quality & High Reliability
- Sealed Construction
- Long Service Life
- Maintenance-Free Operation
- Low Pressure Venting System
- Low Self Discharge
- U. L. Component Recognition
- Six months shelf life at 20°C
- Design life 10 years

Dimensions and Weight

	SI Units	English Units
Length	258mm	10.2inch
Width	166mm	6.54inch
Height	206mm	8.11inch
Total Height	215mm	8.46inch
Approx. Weight	24.0Kg	52.9lbs

Performance Characteristics

- Nominal Voltage 12V
- Number of cell 6
- Nominal Capacity 77°F(25°C)
 - 10 hour rate (6.00A, 10.8V) 60.0Ah
 - 5 hour rate (10.7A, 10.5V) 53.5Ah
 - 1 hour rate (41.0A, 9.60V) 41.0Ah
- Internal Resistance
Fully Charged battery 77°F(25°C) 5.5mOhms
- Self-Discharge
3% of capacity declined per month at 20°C(average)
- Operating Temperature Range
 - Discharge -20~60°C
 - Charge -10~60°C
 - Storage -20~60°C
- Max. Discharge Current 77°F(25°C) 600A(5s)
- Short Circuit Current 1450A
- Charge Methods: Constant Voltage Charge 77°F(25°C)
 - Cycle use 14.4-14.7V
 - Maximum charging current 18A
 - Temperature compensation -30mV/°C
- Standby use 13.6-13.8V
 - Temperature compensation -20mV/°C






Center Power Industrial Park, Tongfu Industrial District Dapeng Town, 518120 Shenzhen, China
 Tel: 86 755 8431 8088 Fax: 86 755 8431 8038 E-mail: sales@vision-batt.com
 Website: <http://www.vision-batt.com>

[29]

Příloha D

Účel zprávy:

Projekt rodinného domu pro investora

Obecné údaje:

Stavba: Líně, ulice Plovární 626 rodinný dům

Místo stavby: Líně

Stavební úřad: Plzeň Jih

Projektant: Tomáš Bílý, E10N0087P, obor +TE

Datum zpracování: leden 2012

Uživatel: Tomáš Bílý

ZÁKLADNÍ ÚDAJE:

Projekt elektroinstalace jednogeneračního rodinného domu (půdorys přípojky, instalace silnoproudu, slaboproudu, bleskosvodu a zapojení rozvaděče)

instalované přístroje:	kombinovaný sporák	3000 W
	rychlouvarná konvice	1000 W
	mikrovlnná trouba	1200 W
	2*PC	1050 W
	ohřev TUV	4700 W
	vysavač	1400 W
	ostatní	4810 W
	<u>světelné okruhy</u>	<u>1940 W</u>
	celkově:	19100 W

rozvodná síť:	3 + PEN, AC, 50Hz, 400/230V, TN-C-S
stupeň elektrizace:	B
instalovaný příkon:	$P_i = 19,1 \text{ kW}$
součinitel soudobosti:	$\beta = 0,81$
soudobý příkon:	$P_\beta = P \cdot \beta = 19,1 \cdot 0,81 = 15,471 \text{ kW}$

Vytápění objektu je realizováno pomocí plynového kotle, jeho ovládání je provedeno pomocí termostatických hlavice na radiátorech a regulace podle ekvitemní křivky. Jako záloha bude v kotelně připravený i kotel na dřevo.

RD bude stavěn s ohledem na nízkoenergetický standard, což znamená, že bude zvýšený požadavek na tepelnou izolaci domu.

A. SILNOPROUDÁ ZAŘÍZENÍ*1) Přípojka a rozvodnice*

Objekt se napájí z veřejné sítě kabelem k HDS typu SP3, ta je umístěna s elektroměrovým rozvaděčem ERP 1.1 (560x510x250 s krytím IP43) v pilíři oplocení rodinného domku. Střed okének elektroměru bude ve výšce 1,5 m nad definitivně upraveným povrchem dle ČSN 35 7030.

Jištění v HDS bude provedeno pomocí výkonových pojistek 3x50A. Odběr elektrické energie RD bude měřen trojfázovým jednosazbovým elektroměrem. Před elektroměrem bude trojfázový jistič 32A.

V domovním rozvaděči ORO-36PX budou umístěny jističe jednopólových bytových obvodů obou pater a jistič blokovacího obvodu zásobníku teplé vody. V ORO-36PX zároveň dojde k rozdělení vodiče PEN na PE a N, vznikne soustava TN-C-S.

[3]