



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# **CHYTRÉ SÍTĚ, CHYTRÉ SPOTŘEBIČE A AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE**

SMART GRIDS, SMART APPLIANCES AND POWER ACCUMULATION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**TOMÁŠ SÚKUP**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**DOC. ING. JIŘÍ POSPÍŠIL PH.D.**

BRNO 2010

## Abstrakt

Tato práce pojednává o problematice spotřeby elektrické energie a s ní související oblasti akumulace energie a jejím rozvodu ke spotřebiteli pomocí chytrých sítí. Dále pak o spotřebičích použitelných v těchto sítích a možné úspoře při použití výhodných tarifů.

## Abstract

The thesis deals with problems of power consumption and related areas of energy storage and its distribution to consumers through smart grids. Then on appliances applicable to these grids and the possible savings from the use of concessional tariffs.

## Klíčová slova

Chytré sítě, akumulace energie

## Keywords

Smart grids, energy storage

## Bibliografická citace

SÚKUP, T. *Chytré sítě, chytré spotřebiče a akumulace el. energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 21 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma chytré sítě, chytré spotřebiče a akumulace energie vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu použitých zdrojů, který je uveden v příloze této práce.

Datum 27.5.2010

.....  
Tomáš Sůkup

## Obsah

Úvod.....	3
<b>1. Spotřeba elektrické energie .....</b>	<b>4</b>
1.1 Časový vývoj spotřeby .....	4
1.2 Linearizace denní spotřeby .....	5
1.3 Nasazování zdrojů do sítě .....	6
<b>2. Akumulace energie .....</b>	<b>7</b>
2.1 Elektrochemický akumulátor .....	7
2.1.1 Olověné (kyselé) akumulátory .....	7
2.1.2 Alkalické akumulátory .....	8
2.1.3 Využití elektrochemických akumulátorů .....	9
2.2 Tepelný akumulátor .....	9
2.3 Mechanický akumulátor .....	9
2.3.1 Setrvačnick.....	9
2.3.2 Přečerpávací elektrárny .....	9
2.3.3 Stlačený vzduch.....	11
2.4 Supravodivý indukční akumulátor .....	11
2.5 Elektromagnetický akumulátor .....	11
2.6 Kondenzátory .....	12
<b>3. Chytré sítě .....</b>	<b>13</b>
3.1 Důvody k používání chytrých sítí .....	13
3.2 Chytré sítě ve světě .....	14
3.3 Chytré sítě u nás .....	16
3.4 Budoucnost chytrých sítí .....	16
<b>4. Zařízení pro chytré sítě .....</b>	<b>18</b>
<b>5. Výpočet možné úspory modelové domácnosti pro současné tarify</b>	
<b>s rozlišením vysoké a nízké sazby .....</b>	<b>19</b>
<b>Závěr.....</b>	<b>20</b>
<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>21</b>

## Úvod

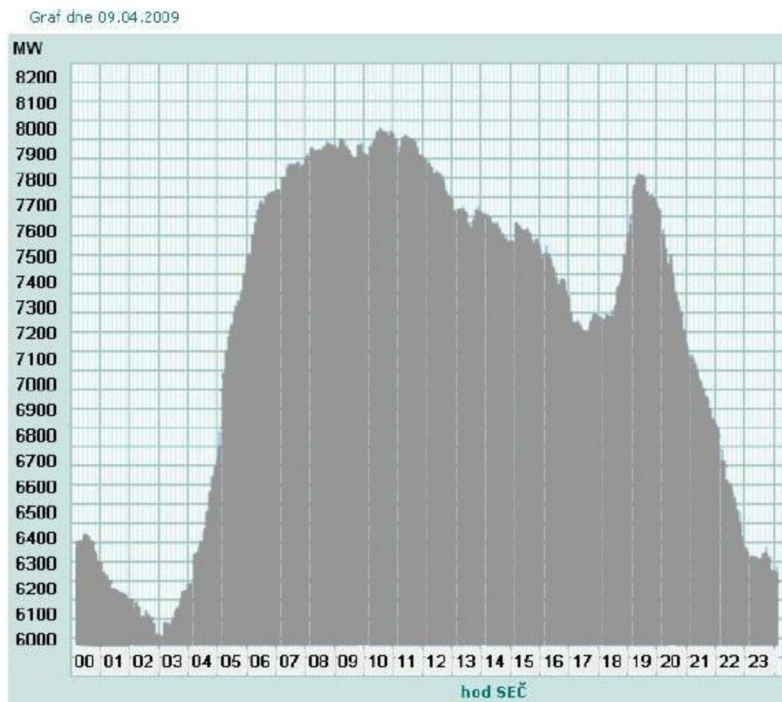
V této práci se budu snažit shrnout informace z oblastí problematiky spotřeby elektrické energie, její akumulování a rozvodu pomocí takzvaných chytrých sítí. Tato témata spolu úzce souvisí. Akumulace energie je důležitá, protože průběh spotřeby během dne je nestálý a elektrárny mají nejlepší provoz při stálé výrobě bez výkyvů a najížděcí časy u většiny elektráren jsou příliš velké, aby mohly tyto výkyvy pokrývat. Vzhledem k nemožnosti akumulace elektrické energie ve velkém měřítku, je zapotřebí hledat další řešení, jedním z nich mohou být i již zmiňované chytré sítě.



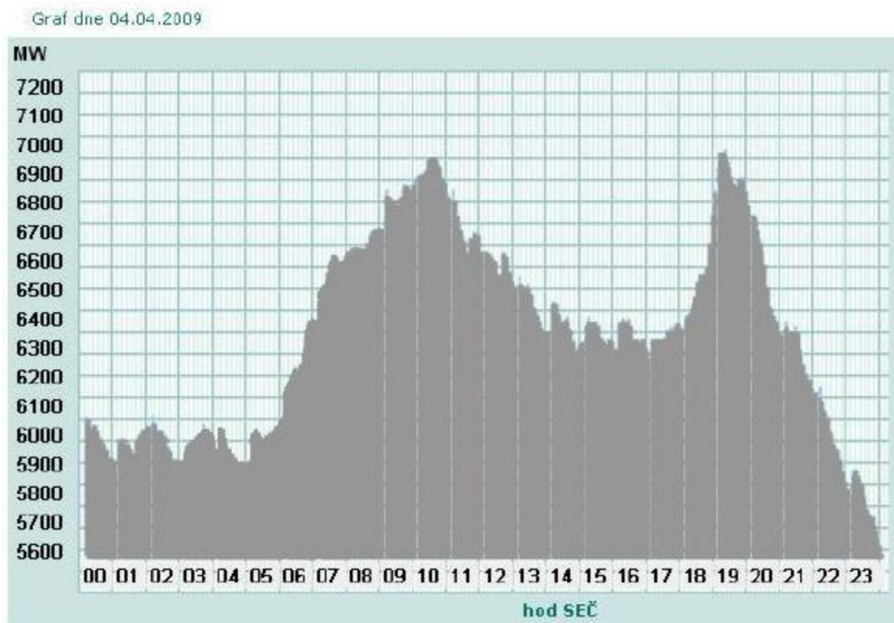
# 1. Spotřeba elektrické energie

## 1.1 Časový vývoj spotřeby

Nevýhoda velkých elektráren je omezená možnost regulace výkonu. Uhlíková elektrárna najíždí na plný výkon několik hodin až půl dne, jaderná elektrárna najíždí na plný výkon několik týdnů. Pro solární, či větrné elektrárny je omezením nerovnoměrnost slunečního svitu a větru. Tyto výkyvy jsou vyrovnávány vodními elektrárnami, ale to vždy nemusí stačit. Proto v době přebytku je třeba ji akumulovat pro pozdější využití v době jejího nedostatku a tak vyrovnávat rozdíly mezi špičkovým odběrem a odběrem mimo špičky. Z tohoto důvodu je třeba sledovat časový vývoj spotřeby elektrické energie. K tomuto účelu se používají odběrové diagramy. Pro problematiku chytrých sítí jsou nejdůležitější denní diagramy (příklady diagramů na obr. 1 a 2). Tyto diagramy vyjadřují průběh spotřeby (výroby) elektrické energie. Průběh zatížení je ovlivněn například klimatickými podmínkami, pracovní aktivitou, střídáním ročních období, pracovních a volných dnů, pracovní a nepracovní doby a střídáním dne a noci.



Obr. 1 Příklad denního diagramu spotřeby elektrické energie [8]



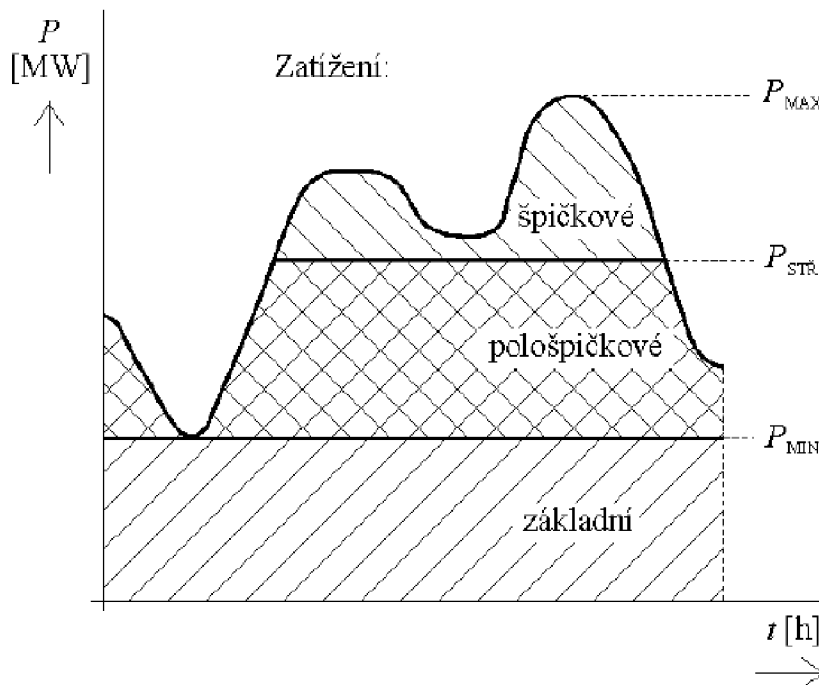
Obr. 2 Příklad denního diagramu spotřeby elektrické energie [8]

## 1.2 Linearizace denní spotřeby

Pokud vyrovnáme (linearizujeme) denní diagram zatížení náklady na výrobu elektrické energie klesnou. Prostředky pro vyrovnání denního diagramu zatížení jsou přečerpávací vodní elektrárny, které při nedostatku elektrické energie ji do sítě dodávají, při přebytku energie ji ze sítě odebírají. Další jsou chytré sítě, či hromadné dálkové ovládání, což je ovládání spotřebičů signálem po rozvodné síti (tepelná čerpadla, závlahové systémy, akumulární kamna, bojler apod.), to je podpořeno zavedením zvýhodněním tarifů (tzv. noční proud). Změna letního času má vliv na tvar diagramu zatížení, snižuje večerní špičku, vliv na spotřebu elektřiny není zcela průkazný. Pro regulaci je výhodná mezinárodní výměna elektrické energie v rámci propojených elektrizačních soustav jednotlivých států. Například v jedné soustavě může být díky časovému posuvu energie přebytek, v druhé soustavě jí může být naopak nedostatek. Regulovat lze i posunutím a rozložením začátků pracovní doby v čase směnnost a podobně.

### 1.3 Nasazování zdrojů do sítě

Nasazování zdrojů do sítě podle diagramu lze rozdělit do tří pásem a to základní, pološpičkové a špičkové (zobrazeno na obr. 3). Základní zdroje dodávají energii nepřetržitě 24 hodin. Elektrárny jsou provozovány pouze s malými změnami výkonu a s poměrně vysokou účinností. Je zde potřeba levné energii za cenu vyšších investičních nákladů. Pracují zde jaderné a moderní tepelné elektrárny velkých výkonů, teplárny, podnikové a průtočné vodní elektrárny. Pološpičkové jsou především klasické tepelné elektrárny a akumulární vodní elektrárny. Změny výkonu musí být dostatečně rychlé. Jako špičkové jsou označovány především přečerpávací vodní elektrárny. Lze využít také akumulární vodní elektrárny a elektrárny s plynovými turbínami. Zdroje musí mít krátkou najížděcí dobu a velkou rychlost změny výkonu. Doba využití elektrárny během dne je nízká. Cena vyrobené elektrické energie je vyšší a není rozhodujícím kritériem.



Obr. 3 Nasazování zdrojů energie podle zatížení sítě [8]

## 2. Akumulace energie

Akumulátor je technické zařízení na opakované uchovávání energie, obvykle elektrické. Akumulátory elektrické energie pracují na různých principech například tepelná, chemická či jiná akumulace energie. Nejznámější je průmyslový princip akumulace energie do potenciální energie vody v přečerpávacích elektrárnách. V případě, že elektřina slouží k výrobě tepla, dá se akumulovat i vytvořené teplo. Na tomto principu jsou založena akumulární kamna.

### 2.1 Elektrochemický akumulátor

Je to sekundární článek, tedy má omezené množství reaktantů, reakční produkty vzniklé vybíjením článku lze však znovu převést elektrickým proudem z vnějšku na původní aktivní reaktanty, jde tedy o články na více vybití. Jelikož napětí jednoho článku je malé, sestavují se z článků akumulované baterie. Například běžná automobilová baterie 12V je sestavena ze šesti článků. Podle elektrolytu se tyto články dělí na akumulátory kyselé (olověné), alkalické a akumulátory s nevodnými, tuhými nebo roztavenými elektrolyty. Většina akumulátorů je schopna snést stovky až tisíce nabití, počet cyklů nabití-vybití je jedním z hlavních parametrů charakterizujících daný akumulátor. Kvalitu akumulátoru ovlivňuje kromě jiného pasivace elektrod, samovybití elektrod, způsob provozování akumulátoru a další okolnosti.

#### 2.1.1 Olověné (kyselé) akumulátory

Olověné akumulátory jsou nejpoužívanější elektrochemický zdroj proudu. Vyrábějí se o kapacitách řádově od 1 do 10 000 A.h. Důvodem je dobře zvládnutá technologie výroby olověných akumulátorů, relativně nízká pořizovací cena, provozní spolehlivost, dobrá účinnost i dostatečný výkon. Roční celosvětová spotřeba olova pro výrobu akumulátorů se pohybuje kolem 2,5 milionů tun, z toho část olova se získává recyklací již vyřazených akumulátorů.

Olověný akumulátor sestává z párů olověných desek, ponořených do nádoby s roztokem kyseliny sírové. Na deskách nenabitého akumulátoru se usadí účinkem kyseliny síran olovnatý  $PbSO_4$ . Připojením stejnosměrného elektrického napětí při nabíjení se na kladné elektrodě vytváří červenohnědý oxid olovičitý  $PbO_2$ , záporná elektroda se pokryje tmavě šedou vrstvou houbovitého olova. Tím se nabitý akumulátor přeměnil v galvanický článek. Elektrolyt zhoustne a na svorkách páru elektrod změříme napětí 2,1 V. Při vybíjení, po spojení svorek elektrod přes zátěž, začne probíhat opačná chemická reakce než při nabíjení.

Životnost je závislá na konstrukci elektrod, teplotě prostředí, použitých nabíječích a způsobu provozu akumulátorů. U akumulátorů trvale dobíjených se udává v rocích, u akumulátorů pracujících v cyklickém provozu se udává v počtu cyklů. Za konec životnosti se považuje pokles kapacity na 80% jmenovité hodnoty. Životnost akumulátorů limitují kladné elektrody, které jsou náchylnější k uvolňování aktivní hmoty  $PbO_2$ . Delší životnost záporných elektrod umožňovala u akumulátorů s velkopovrchovými elektrodami výměnu kladných

elektrod. Tím se životnost akumulátoru zvýšila téměř dvojnásobně. V současné době se vyrábějí kompaktní akumulátory, které se nedají upravovat.

### 2.1.2 Alkalické akumulátory

Společným znakem této skupiny akumulátorů je použití elektrolytu, který je vodný roztok hydroxidu alkalického kovu, nejčastěji hydroxidu draselného. Podle použitých hmot kladných a záporných elektrod dělíme alkalické akumulátory na:

- nikel-kadmiové, které jsou ve skupině alkalických akumulátorů v současné době nejrozšířenější
- nikel-železné vynikající dlouhou životností, jejich nevýhodou je výrazně nižší účinnost nabíjení v porovnání s Ni-Cd akumulátory. Mají velké samovybíjení a v teplotách pod bodem mrazu extrémní pokles kapacity.
- nikel-metalhydridové v současné době se používají jako náhrada malých Ni-Cd akumulátorů. Neobsahují toxické kadmium a při stejném objemu mají přibližně dvojnásobnou kapacitu, jejich životnost je ale poloviční.
- stříbro-zinkové mají v porovnání s Ni-Cd akumulátory vyšší jmenovité napětí a dosahují výrazně vyšší kapacity na jednotku hmotnosti a objemu. Mají též velkou účinnost nabíjení a malý vnitřní elektrický odpor. Jejich nevýhodou je vysoká cena a poměrně krátká životnost způsobená zinkovou elektrodou.
- Stříbro-kadmiové vzniknou náhradou zinkové elektrody elektrodou kadmiovou. Tím se prodlouží životnost akumulátoru.



Obr. 4 Ni-MH akumulátory velikosti AA, Li-ion lithium iontový [18]

### **2.1.3 Využití elektrochemických akumulátorů**

Akumulátory se využívají v mnoha složitějších strojích jako pomocný zdroj energie. Olověné akumulátory jsou součástí prakticky každého automobilu jako zdroj pro startér. Akumulátory pohání klasické ponorky, jsou prováděny i pokusy s pohonem mnoha dalších dopravních prostředků. Elektromobily zatím obyčejné automobily nenahradily, ale jako golfové vozíky nebo akumulátorové vozíky na nádražích a ve skladových areálech se již používají delší dobu. Důležité je i využití ve spotřební elektronice. Je jimi vybaven například notebook nebo mobilní telefon. Akumulátory jsou také součástí nouzových svítidel. Nouzová svítidla zajišťují osvětlení při výpadku dodávek elektrické energie. U tramvají zajišťují akumulátory takzvaný nouzový pojezd - například při průjezdu mycí linkou není normální napájení z troleje možné.

### **2.2 Tepelný akumulátor**

Akumulátor tepla (teplojem, zásobník tepla) je zařízení umožňující uchovat teplo do okamžiku spotřeby. Jedná se například o teplo slunečního záření, které je možno uchovávat v kapalné nebo pevné látce.

Může to být též zásobník naplněný nejčastěji horkou vodou a párou. Pracuje tak, že v době nízké spotřeby tepla se do něj zavádí přebytečná pára, která zvyšuje tlak v zásobníku a kondenzuje v něm. V době vysoké spotřeby se pára odebírá z prostoru nad hladinou. Tím klesá tlak, část horké vody se odpařuje a vzniklá pára kryje špičkovou spotřebu.

### **2.3 Mechanický akumulátor**

Mechanické akumulátory akumulují mechanickou energii. Mechanická akumulátory jsou zařízení, která využívají potenciální energii nebo kinetickou energii a umožňují přeměnu těchto energií na jinou formu vhodnější pro praktické využití.

#### **2.3.1 Setrvačnick**

Setrvačnick je historicky prvním akumulátorem energie. Jeho princip spočívá v roztočení kotouče s poměrně velkou hmotností. Po odpojení od vnějšího zdroje energie kotouč setrvačností dále rotuje a stává se tak sám zdrojem naakumulované kinetické energie. Setrvačnick se v energetice široce používají například pro plynulý doběh napájecích čerpadel při výpadku elektrického napájení. Za zmínku také stojí zkušební provoz elektrických gyrobuseů ve Švýcarsku. Jedná se o speciálně upravené trolejbusy s 1,5tunovým setrvačnickem pod podlahou na hřídeli elektrického stroje. Moderní typy setrvačnicků představují lehké a menší čokovité kotouče z vyztužených plastů, které ve speciálních ložiskách a ve vakuové nebo heliem plněné skříní rotují až desettisíckrát za minutu. Takto konstruované setrvačnick se v průmyslu využívají pro překonání krátkodobých výpadků sítě nebezpečných pro řídicí a počítačové systémy.

#### **2.3.2 Přečerpávací elektrárny**

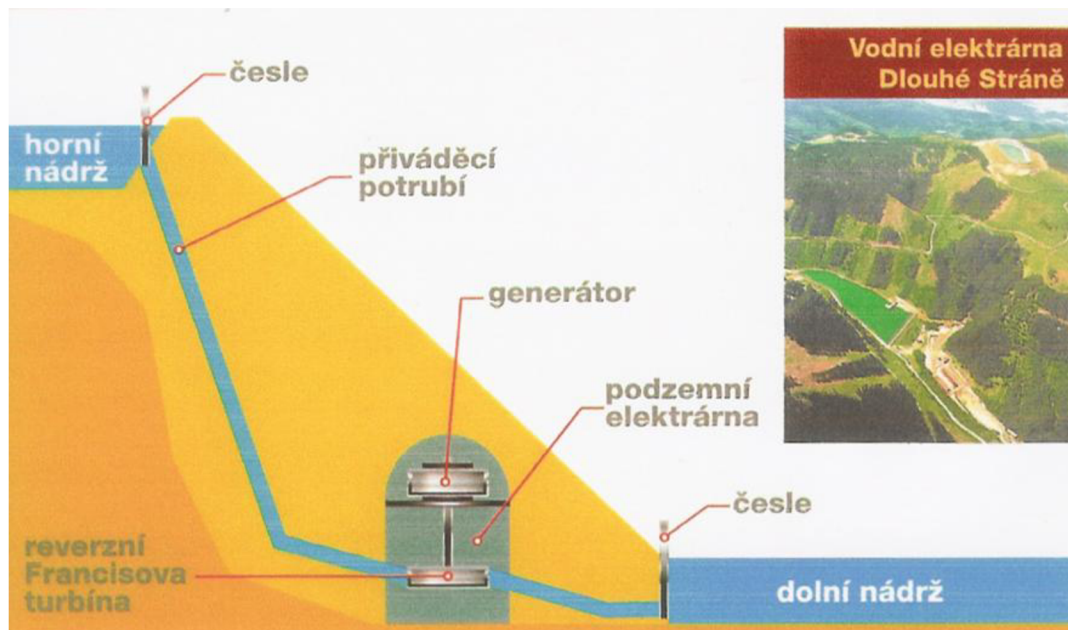
V energetice se používá akumulace energie v podobě potenciální energii vody v přečerpávacích elektrárnách. Tyto elektrárny plní v elektrizační soustavě několik významných funkcí - statickou, dynamickou a kompenzační. Statickou funkcí se rozumí přeměna nadbytečné energie v soustavě na energii špičkovou - v době přebytku elektrické



energie v síti (především v noci) se voda čerpá z dolní nádrže do horní a ve špičkách, v době nedostatku elektřiny, se v turbínovém režimu vyrábí elektrický proud. Dynamickou funkcí přečerpávací vodní elektrárny se rozumí schopnost plnit funkci výkonové rezervy systému, vyrábět regulační výkon a energii a podílet se na řízení kmitočtu soustavy. Kompenzační provoz slouží k regulaci napětí v soustavě.

V České Republice jsou přečerpávací elektrárny Dalešice, Černé jezero, Štěchovice a Dlouhé Stráně. Největší z nich je elektrárna Dlouhé Stráně. Leží na Moravě, v katastru obce Loučná nad Desnou, v okrese Šumperk. Elektrárna má tři "nej": největší reverzní vodní turbínu v Evropě - 325 MW, elektrárnu s největším spádem v České republice - 510,7 m a největší instalovaný výkon v ČR - 2 x 325 MW. Výstavba elektrárny byla zahájena v květnu 1978. Na počátku osmdesátých let však byla z rozhodnutí centrálních orgánů převedena do útlumového programu. V roce 1985 došlo k modernizaci projektu a po roce 1989 bylo rozhodnuto stavbu dokončit. Elektrárna je řešena jako podzemní dílo. Obě soustrojí jsou umístěna v podzemí, v kaverně o rozměrech 87,5 x 25,5 x 50 m. Souběžně s kavernou turbín se v podzemí nachází komora transformátorů, která má rozměry 115 x 16 x 21,7 m. V této komoře jsou dva blokové trojfázové transformátory, rozvodny 22 kV a další zařízení.

Horní nádrž je s podzemní elektrárnou spojena dvěma přivaděči, každým pro jedno soustrojí. Přivaděče mají délku 1 547 m a 1 499 m. Elektrárna je spojena s dolní nádrží dvěma odpadními tunely o průměru 5,2 m. Tunely jsou dlouhé 354 a 390 metrů. Dolní nádrž se nachází na říčce Divoká Desná. Nádrž má celkový objem 3,4 mil. kubických metrů, výšku hráze 56 m, kolísání hladiny 22,2 m. Horní nádrž se nachází na hoře Dlouhé Stráně v nadmořské výšce 1350 m. Má celkový objem 2,72 mil. m<sup>3</sup>. Technologický proces zajišťují dvě reverzní turbosoustrojí, každé o výkonu 325 MW. Výkon reverzní turbíny při čerpadlovém režimu činí 312 MW, při turbínovém až 325 MW. Kromě správní budovy s velínem se na povrchu nachází objekt vývodového pole se zapouzdřenou rozvodnou 400 kV, dílny a sklady, garáže, čistírna odpadních vod a úpravná vody.



Obr. 5 Průřez přečerpávací elektrárnou [17]

### **2.3.3 Stlačený vzduch**

Další formou mechanické akumulace energie jsou zásobníky stlačeného vzduchu (plynu). Na jejich principu fungovala například pneumatická tramvaj, další bylo využití opuštěných dolů. V okamžiku potřeby se stlačený vzduch pod tlakem okolo 6 MPa vpustí do spalovací turbíny spolu s přídatkem plynu, jehož spotřeba se na dosaženém elektrickém výkonu turbosoustrojí podílí jen jednou třetinou.

V průmyslovém měřítku byla poprvé uvedena do provozu roku 1974 v německém Hundorfu. Vzduch je čerpán do dvou hlubinných solných jeskyň o objemu 150 000 m<sup>3</sup> a plynová turbína je schopná po dobu tří hodin vracet do sítě výkon 290 MW. Ani další tlakovzdušná plynová přečerpávací elektrárna s výkonem 110 MW postavená v Alabamě v USA nevrací z uložené energie víc než 55 % zpět, protože dochází ke ztrátám tepla při stlačování vzduchu.

### **2.4 Supravodivý indukční akumulátor**

Supravodivý indukční akumulátor je zařízení, které umožňuje uchovat elektrickou energii díky bezdrátovému přenosu elektrického proudu po supravodivých kabelech. První malé supravodivé akumulátory s názvem Uninterruptible Power Supplies z USA pracují se supravodivou cívku ponořenou do kapalného helia, která je napájena přes usměrňovač. Proud v ní cirkuluje s minimální ztrátou 0,3 kWh za 24 hodin. Akumulátor je schopen reagovat během 0,2 mikrosekundy na hlubší pokles napětí sítě a je schopen na překlenovací dobu dodávat výkon kolem 1 MW. Větší supravodivý akumulátor Superconducting Magnetic Energy Storage o kapacitě 800 Wh stabilizuje spojovací vedení společnosti Bonneville Power v Oregonu (USA). Vydržel několik milionů cyklů nabití-vybití, přičemž doba nabíjení i vybití je extrémně krátká a účinnost lepší než 95%. Existují studie energetických supravodivých akumulátorů s kapacitou až 4000 MW. Tyto akumulátory mají mít podobu prstence, v němž je v kapalném heliu ponořena smyčka z tlustého měděného vodiče. Ztráty se započtením příkonu kryogenní stanice udržující helium na teplotě pod minus 269 °C nemají být menší než 1%.

### **2.5 Elektromagnetický akumulátor**

Elektromagnetické akumulátory jsou založeny na akumulování energie formou elektromagnetického pole kolem supravodivých vodičů. Tento způsob akumulace energie je předmětem intenzivního výzkumu v běžné praxi není využíván.



## 2.6 Kondenzátory

Kondenzátor je prakticky jediný způsob, jak skladovat elektrinu přímo ve formě elektrického náboje. Ve srovnání s elektrochemickou baterií je hustota energie malá, avšak díky nepatrnému vnitřnímu odporu lze tuto energii velmi rychle dostat ven. Velké kondenzátorové baterie se proto často využívají jako zdroje impulsního výkonu, např. ve fyzikálním výzkumu pro lasery, urychlovače částic nebo termojadernou syntézu.

Superkondenzátory se začaly komerčně uplatňovat v posledních 10 letech, ačkoliv první vzorek je již z roku 1957. Používají se i jiné názvy – ultrakondenzátory, elektrochemické dvouvrstvé kondenzátory aj. Vlastnostmi je to něco mezi baterií a kondenzátorem. Při nabíjení vytvoří ionty elektrolytu na obou elektrodách polarizované vrstvy z aniontů, respektive z kationtů – ekvivalent elektrostaticky nabitých desek kondenzátoru, viz obr. 1. Víme, že kapacita kondenzátoru je tím větší, čím je větší plocha desek a menší vzdálenost mezi nimi. U superkondenzátoru je jejich velká kapacita dána tím, že elektrody jsou ze speciálního materiálu, jako je mikroporézní aktivovaný uhlík, který se vyznačuje extrémním povrchem až ~ 2000 m<sup>2</sup>/g a tím, že vzdálenost mezi nabitými vrstvami je jen několik nanometrů. Dají se tak realizovat superkondenzátory s kapacitou až několika tisíc F (faradů), tedy o několik řádů více, než je možné u foliových kondenzátorů. Používané organické elektrolyty vydrží napětí jen kolem 2,5 V. Vyššího napětí se tedy dosahuje sériovým řazením základních článků. Vyrábějí se moduly na napětí desítek až stovek voltů.

Není problém superkondenzátor koupit. Ceny klesají, počet výrobců roste, takže brzy bude superkondenzátor běžnou součástí bateriově napájených přístrojů. Baterie doplněná superkondenzátorem vydrží mnohem déle bez dobíjení, protože budou zajištěny krátkodobé špičkové odběry. Typickým příkladem je digitální fotoaparát, kde při zapnutí a některých činnostech je mnohem větší spotřeba než průměrný odběr. Velká role čeká superkondenzátory v automobilovém průmyslu a dopravních systémech. Již dnes např. usnadňují startování nákladních automobilů v tvrdých sibiřských podmínkách, zkoušejí se jako rekuperační akumulátory v madridském metru a v řadě jiných aplikací.

## 3. Chytré sítě

### 3.1 Důvody k používání chytrých sítí

S postupující liberalizací trhu s elektřinou se mění i nároky a očekávání spotřebitelů týkající se možností aktivně kontrolovat svoji spotřebu a požadavků na tarify šité na míru jejich potřebám. Již je tomu 120 let od okamžiku, kdy Nikola Tesla prezentací svých vynálezů, využívajících střídavý proud, v Americkém institutu elektroinženýrů tedy obrazně položil základy distribučním sítím, které jsou v téměř nezměněné podobě používané až dodnes. Hlavními parametry těchto tradičních distribučních sítí jsou centralizovaná výroba a jednosměrný tok energie od výrobce směrem ke konečnému spotřebiteli. Za dobu, která uplynula od zveřejnění Teslových vynálezů, se změnila potřeba a požadavky na celou distribuční síť. Byl zaznamenán také pokrok v technologických možnostech její automatizace, dálkového řízení a kontroly.

Zejména v posledním desetiletí je kvůli rostoucím cenám fosilních paliv, jejich tenčícím se zásobám a vlivu emisí CO<sub>2</sub> na globální klima především ve vyspělých státech patrný příklon k výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů. Ty se svou malou instalovanou kapacitou a decentralizovaným charakterem výroby zásadně liší od tradičních výrobních zdrojů založených na fosilních palivech. Jejich použití může mít za následek tzv. ucpání sítě. Proměnlivost dodávek ze zdrojů obnovitelné energie zase může vést k poměrně závažným problémům se spolehlivostí sítě. V minulosti vždy elektřina proudila jedním směrem, tedy z elektrárny ke spotřebiteli. Nicméně dnes, kdy alternativní zdroje vyrábějí stále větší objem obnovitelné energie, vstupuje elektřina do sítě z mnoha míst, a to včetně distribuční sítě (tzv. distribuovaná generace). Stávající rozvodná síť však není na takové vícesměrné proudění elektřiny stavěna.

Je zřejmé, že tento trend bude do budoucna posilovat. Podle Mezinárodní agentury pro energii vzroste do roku 2030 v Evropě podíl elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů na celkové vyrobené elektřině ze současných 13 % na 26 %. Z předpovědí Evropské komise dále vyplývá, že kapacita decentralizované výroby se v rámci Evropské Unie zvýší do roku 2020 o 400 % a dosáhne 10% podílu na celkové výrobní kapacitě. Integrace tak velkého množství decentralizovaných výroben do distribuční sítě s sebou přinese nové požadavky na její řízení a celkové uspořádání.

Mění se i nároky a očekávání spotřebitelů týkající se možností aktivně kontrolovat svoji spotřebu a požadavků na tarify šité na míru jejich potřebám. Této emancipaci spotřebitelů je navíc v řadě evropských zemí aktivně napomáháno i ze strany místních energetických regulátorů upřednostňováním nebo vyžadováním instalace chytrých elektroměrů tzn. digitálních elektroměrů schopných oboustranné dálkové komunikace a kontinuálního měření průtoku elektřiny. Jako příklad zde můžeme uvést Itálii, Nizozemí a Švédsko, kde je plánována celoplošná instalace těchto elektroměrů.

Z toho vyplývá, že distribuční sítě v dnešní podobě již pomalu přestávají stačit nárokům, které na ně ti, jež je využívají, kladou a do budoucna budou klást. Zhruba před pěti lety se v souvislosti s distribučními sítěmi nové generace začal používat termín smart grids. Smart grids můžeme definovat jako inteligentní, samočinně se řídící a regulující přenosové/distribuční sítě, schopné přenášet elektřinu vyrobenou z jakéhokoliv zdroje od centralizované i decentralizované výroby až ke konečnému spotřebiteli, a to vše s minimem lidských zásahů. Tyto sítě umožní optimální využití elektřiny z obnovitelných zdrojů, což

povede k podstatnému snížení emisí CO<sub>2</sub>. Zároveň jsou schopné samy reagovat na hrozící přetížení v síti a přesměrovat tok elektřiny, čímž předcházejí možným výpadkům. Máme-li uvést základní atributy těchto sítí nové generaci, musíme především zmínit plnou automatizaci zahrnující digitální kontrolní a řídicí systém, integrované senzory monitorující chování sítě a automatické obnovování provozu po poruše, včetně procesu sebezotavení. Nedílnou součástí je dostupnost informací v reálném čase o zatížení sítě, kvalitě dodávky, přerušení apod. Hlavními přínosy plné automatizace jsou lepší kontrola nad sítí spolu s minimalizací možných poruch a výpadků díky možnosti flexibilně přesměrovat tok elektřiny, a izolovat tak postižené místo, což samozřejmě vede i ke zlepšení kvality dodávky elektřiny.

Plná integrace zákazníků spočívající jak v instalaci digitálních měřidel dovolujících obousměrný přenos informací, tak v začlenění zákaznických elektrických zařízení přímo do sítě. Přesné informace v reálném čase umožní vznik sofistikovaných tarifů stanovujících cenu za spotřebovanou elektřinu podle aktuální situace v síti. To spolu se schopností ovládat dálkově "chytré" domácí spotřebiče dá zákazníkům příležitost lépe řídit svoji spotřebu, např. zapínat ohřev teplé vody nebo praní prádla, pouze existuje-li v síti volná kapacita. Na druhou stranu energetické společnosti získají přesné informace o chování jednotlivých zákaznických segmentů, což v ideálním případě povede ke zkvalitnění jejich služeb.

Smart grids zapojí do tradiční distribuční sítě další výrobní zdroje a umožní obousměrný tok elektřiny k zákazníkovi i od něj. Do sítí budou elektřinu dodávat nejen dnes běžné velkokapacitní elektrárny, ale navíc budou zapojeny menší lokální či regionální zdroje, jako například palivové články, solární elektrárny, větrné farmy, mikroturbíny a jiné decentralizované technologie výroby elektřiny. Tímto bude umožněno, aby koncoví zákazníci z řady měst a obcí či obchodních firem a průmyslových podniků vyráběli elektřinu vlastními zdroji a její přebytky dodávali do sítě, případně při jejím nedostatku ze sítě čerpali. Předpokladem je samozřejmě také obousměrný tok elektřiny mezi distribučními a přenosovými soustavami.

### **3.2 Chytré sítě ve světě**

Téma smart grids je již určitou dobu aktuální v USA i v zemích Evropské unie, a to jak mezi státními a správními orgány, tak v soukromém sektoru. Ve Spojených státech se oblastí smart grids zabývá přímo ministerstvo energetiky, které před dvěma lety vyhlásilo program s názvem Strategie moderní sítě. Tento program se soustředí na vývoj a zavedení technologií v oblastech integrované komunikace, pokročilých zařízení, metod řízení sítě, měření a vyhodnocování stavu sítě a jejich komponent a systémů pro podporu rozhodování.

Nejpokrokovějšími státy jsou z pohledu implementace konceptů smart grids Kalifornie a Colorado. V San Diegu místní energetická společnost San Diego Gas & Electric ve spolupráci s lokální univerzitou připravila v roce 2006 studii, která navrhla a prioritizovala hlavní iniciativy pro vytvoření inteligentní sítě do roku 2016. Součástí studie byla také kvantifikace přínosů v oblasti úspor při údržbě sítě, vyššího využití přenosových kapacit, snížení poptávky po energii ve špičkách, vytvoření pracovních míst v regionu atd. Z dlouhodobého pohledu dvaceti let mohou tyto přínosy celkem dosáhnout téměř 3 miliard USD při investicích přibližně 0,5 miliardy USD a provozních nákladech 25 milionů USD ročně.

Situace ve městě Boulder v Coloradu je ještě o krok dále. Iniciátorem je zde energetická společnost Xcel Energy, jež ve spolupráci se Smart Grid Consortium provádí analýzu současného stavu infrastruktury ve městě s cílem stanovit rozsah a směr výstavby smart grid. Dle předběžného plánu má být celé město pokryto inteligentní sítí do roku 2010, přičemž celková investice obnáší cca 100 milionů USD. Síť bude tvořena prvky pokročilých komunikačních technologií a chytrými elektroměry s programovatelným ovládním pro domácnosti, které umožní uživatelům automatizovat kontrolu nad spotřebou elektrické energie. Nabyté zkušenosti budou následně využity při plánování implementace smart grids ve všech sítích Xcel Energy.

V Evropě vývoj na tomto poli také nestojí. V rámci institucí EU zahájila v roce 2005 svou činnost skupina pojmenovaná Smart Grids European Technology Platform. Jejím cílem je vytvořit společnou vizi pro rozvoj moderní evropské elektrické sítě do roku 2020 a tuto vizi také implementovat v jednotlivých zemích. Platforma sdružuje více než 200 expertů z energetických společností, dodavatelů zařízení, poradenských společností, politických i akademických kruhů. Jedním z jejích prvních výsledků je dokument Strategický plán pro energetické technologie (Strategic Energy Technology Plan). Dokument stanovuje energetické cíle EU do roku 2020. Kromě podpory biopaliv a technologií pro snižování CO<sub>2</sub> se zaměřuje také na další oblasti - vznik inteligentních elektrických sítí včetně skladovacích zařízení pro elektrickou energii. Tyto sítě by také měly umožnit integraci všech obnovitelných decentralizovaných výrobních zdrojů a také zavedení efektivnějších koncových zařízení a systémů, např. palivových článků apod. V několika státech EU již začaly energetické společnosti přicházet s konkrétními projekty. V Portugalsku plánuje do konce roku 2009 konsorcium InovGrid investovat do vzniku inteligentních sítí 20 milionů eur. Spotřebitelů se tato investice dotkne prostřednictvím instalace energy boxu v každém domě. Ten v první fázi umožní domácnostem zjednodušenou správu účtů za elektřinu a dále pak domácnostem s generátory energie z obnovitelných zdrojů obousměrný tok elektrické energie, tzn. její nákup i dodávku do sítě. Ve španělské části Pyrenejského poloostrova firma Iberdrola pracuje na definici a testování nové otevřené veřejné telekomunikační architektury, která bude sloužit jako podpora "chytrým" elektroměrům a rovněž bude základem architektury budoucích inteligentních elektrických sítí. Nicméně aktivní v této oblasti nejsou pouze jihoevropské státy, Irsko nedávno oznámilo svůj záměr investovat do inteligentních elektroměrů a sítí 10 miliard USD jako součást své snahy o snížení emisí CO<sub>2</sub> pod limity stanovené EU. V řadě evropských zemí jsou navíc technologické inovace a investice do nich přímo či nepřímo podporovány místními energetickými regulačními úřady. EU předpokládá, že instalace chytrých měřidel v distribuční síti dosáhne v roce 2020 80 %.

### 3.3 Chytré sítě u nás

U nás energetická společnost ČEZ představila pilotní projekt Smart Region, vůbec první projekt tohoto typu v České republice. V průběhu pěti let investuje půl miliardy korun do zavedení a testování inteligentních technologií v distribuční síti města Vrchlabí. ČEZ plánuje vybavit přibližně 4500 vrchlabských domácností a podniků Smart Meters (chytrými měřidly). Jedná se o moderní elektroměry, které měří spotřebu energie podrobněji, díky čemuž bude mít odběratel lepší přehled o své spotřebě energie a bude moci ji více ovlivnit. V budoucnu bude mít odběratel na výběr ze širší nabídky tarifů šitých na míru jeho potřebám, podobně jako je tomu nyní u tarifů mobilních operátorů. Prostřednictvím instalace chytrých měřidel ČEZ plánuje vyzkoušet nový koncept řízení spotřeby a výroby elektrické energie. Také nainstalují prvky automatizace a monitoringu distribuční sítě na úrovni sítí nízkého a vysokého napětí a distribučních trafostanic, které umožní přesměrování toku energie v případě výpadků. Nové funkcionality umožní zmenšit rozsah poruch v části sítě nízkého napětí. Dalším komponentem projektu Smart Region je vybudování infrastruktury pro elektromobily. ČEZ chce ve Vrchlabí postavit několik dobíjecích stanic a poskytnout městu několik elektromobilů. Akumulátor v elektromobilu může v budoucnu sloužit k vyrovnávání špiček v odběrovém diagramu a tím pomoci k celkové vyváženosti mezi dodávkou a oděrem elektrické energie v distribuční síti. Kromě využívání energie z velkokapacitních elektráren budou zapojeny lokální zdroje energie, tzn. jednotky kombinované výroby tepla a elektrické energie a různé typy obnovitelných zdrojů energie. Nebude již docházet k tomu, že obnovitelné zdroje budou distribuční síť destabilizovat, naopak budou efektivně doplňovat současné zdroje energie. Lokální výrobní zdroje umožní vytvoření a testování tzv. řízeného ostrovního provozu, což je bilančně vyrovnaný provoz mezi spotřebou a výrobou ve Smart Regionu.

### 3.4 Budoucnost chytrých sítí

V novodobé koncepci využití elektrické energie, která počítá se zaváděním úsporných opatření s cílem snižování emisí a využitím "zelených" a distribuovaných zdrojů energie, bude potřeba adekvátně přizpůsobit i elektrické distribuční sítě. Smart grids je bezesporu způsob, který je reálně uskutečnitelný a nabízí vše podstatné. Je však potřeba podotknout, že jeho úspěšná implementace nezávisí pouze na technické stránce sítě, nýbrž je úzce spjata i s dalšími oblastmi. Bude potřeba dále provádět intenzivní výzkum a vývoj se zaměřením na distribuované zdroje a skladování energie, které jsou klíčovým prvkem a důvodem vzniku inteligentních sítí. Velkou pozornost je nutné věnovat vývoji obslužných zařízení sítí a jejich standardizaci, ale také vlastní logice a systémům řízení sítí. Nemalou pozornost bude vyžadovat také nastavení architektury pro komunikaci mezi jednotlivými elementy.

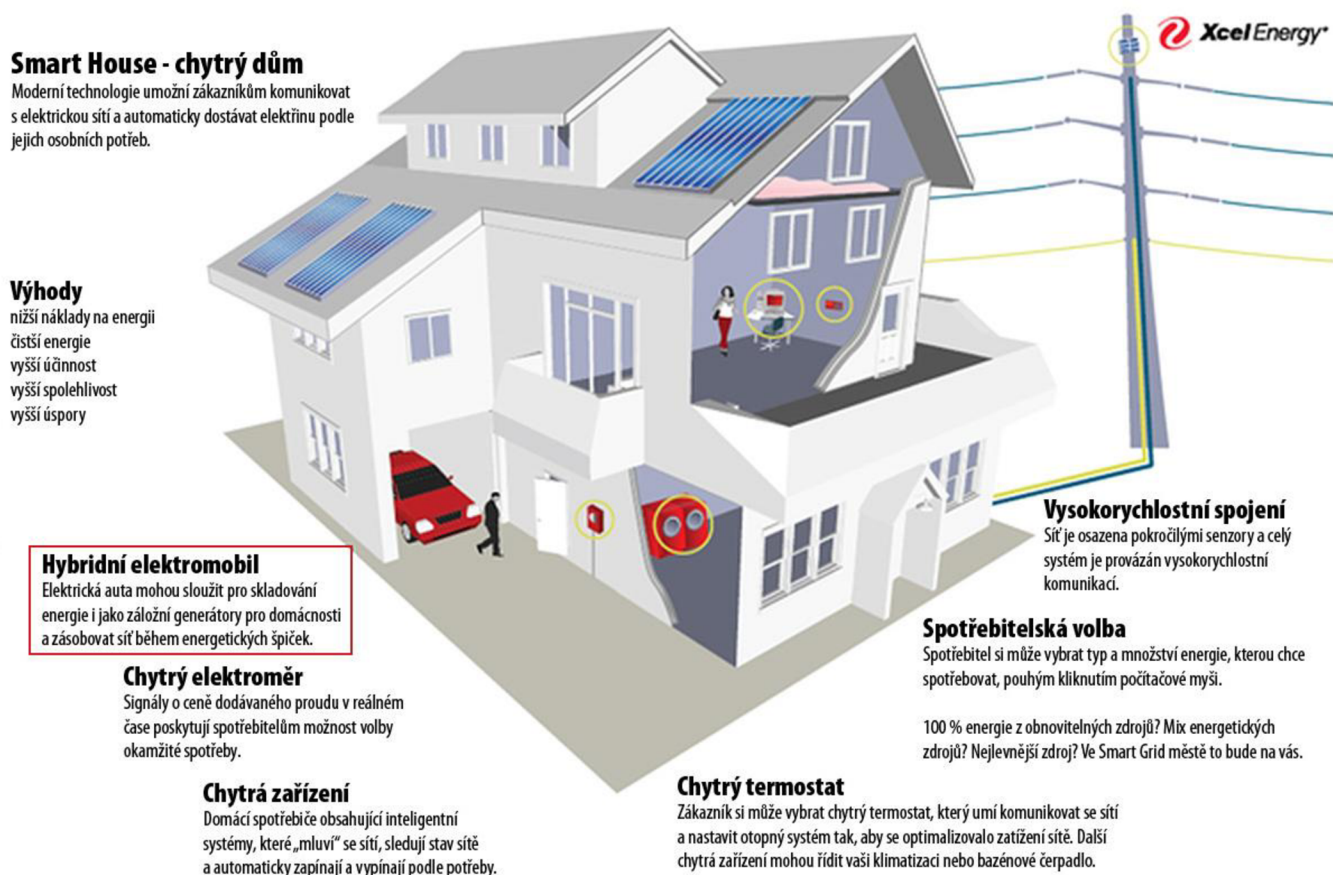
Podniky a domácnosti budou vyžadovat podporu při zavádění distribuovaných zdrojů energie, které budou šetrné k životnímu prostředí, a také úsporných opatření. S ohledem na lepší balancování dodávek energie do sítě bude také potřeba lépe plánovat její spotřebu. Regulátoři pak budou muset zohlednit tato omezení ze strany spotřebitele např. v nastavení nových pravidel a cen s ohledem na čas dodávky a odběru, které budou účtovány v reálném čase. Mnohde bude také potřeba stanovit striktnější pravidla s cílem snižování regulovaných nákladů pro zajištění motivace stávajících operátorů sítí k úsporným opatřením, ale také připravit pobídky pro investory, kteří budou chtít smart grid implementovat.

Zavedení inteligentních sítí do reálného provozu tedy bude vyžadovat spolupráci mnoha skupin a společností, které prozatím pracují často individuálně a vyvíjejí pouze části uceleného řešení. Navíc vzhledem k celosvětové potřebě optimalizovat dostupnost elektrické energie bude nutné tyto snahy koordinovat nejen na lokální, ale také na mezinárodní úrovni.

To, jak by měly inteligentní sítě reálně fungovat, lze například demonstrovat na projektu tzv. inteligentního domu, který ukazuje využití technologií inteligentních sítí pro běžného spotřebitele. Jeho potencionální přínosy spočívají především v optimalizaci spotřeby elektřiny, a tedy nižších nákladech na ni, v možnosti zvýšeného využití elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů a v neposlední řadě i v celkovém zefektivnění využití distribuční sítě.

## 4. Zařízení pro chytré sítě

Hlavní myšlenkou, která stojí za inteligentní rozvodovou sítí elektrické energie, je snaha, aby se tato síť dokázala v případě potřeby sama regulovat. Za pomoci inteligentní sítě je v případě potřeby možné omezit dodávku do zařízení, jako jsou myčky nádobí, pračky nebo sušičky, které nutně nepotřebují okamžitý příkon v době špičky, ale na rozdíl od nich je nutné, aby lednička či komunikační zdroje domácnosti (včetně televizoru) pracovaly neustále. K dosažení tohoto cíle pracuje Cisco na vývoji systému správy elektrické energie, který bude umět získávat informace z inteligentní elektrické sítě a tyto informace předávat do jednotlivých spotřebičů v domácnosti. V praxi by to mělo vpadat následovně: Dodavatel elektrické energie oznámí, že během dvou hodin nastane krátkodobý nedostatek elektrické energie a její cena bude vyšší. Systém správy elektrické energie zjistí, které spotřebiče lze v takových situacích odpojit od sítě. Uživatel si jen nadefinuje jejich seznam. Řídící zařízení například pošle signál do bojleru, aby ohřál vodu ještě před tím, než nastane očekávaná drahá špička. Moderní mrazáky mohou v těchto případech rovněž využít zbývající čas k namrazení, a poté mohou několik hodin být vypnuté bez toho, aby došlo k rozmrazení uložených potravin. Všechny tyto technologie mají být využity v tzv. chytrých domech (na obr. 6). V oblasti chytrých sítí se začal aktivně angažovat také Google představil software nazvaný PowerMeter. Dokáže sbírat data z chytrých elektroměrů, tato data dlouhodobě analyzovat, zpracovávat a sdílet s ostatními.

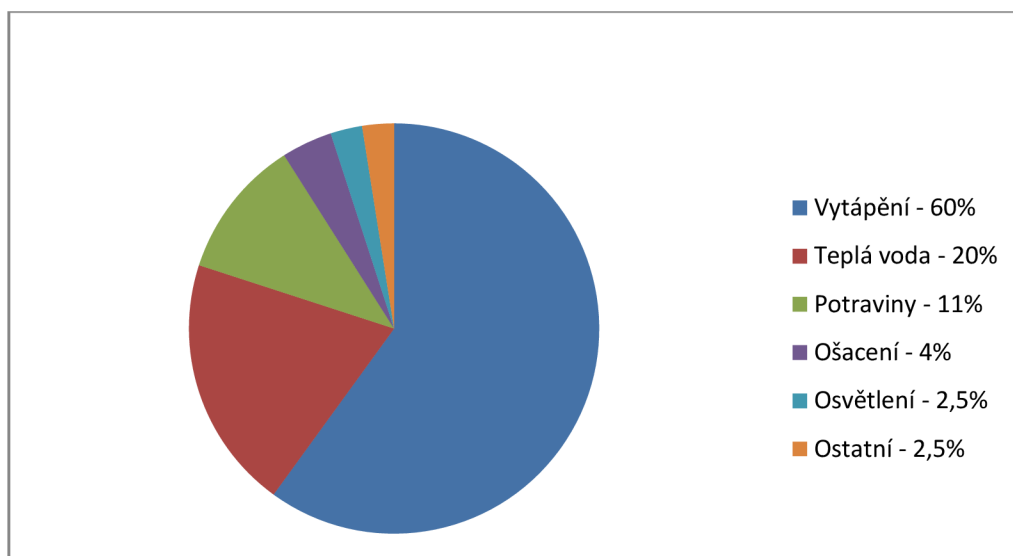


Obr. 6 Chytrý dům [14]



## 5. Výpočet možné úspory modelové domácnosti pro současné tarify s rozlišením vysoké a nízké sazby

Předpokladem pro to, aby o chytré sítě měli zájem také spotřebitelé, je již zmiňované zavedení tarifů, které zajistí výhodnost pro většinu z nich. Již dnes si můžeme vybírat z několika tarifů. Tyto tarify mohou mít rozlišení odběru na vysokou a nízkou sazbu, tedy takzvaný denní a noční proud. Průměrná spotřeba domácnosti je 8 kwh za den. Procentuální vyjádření spotřeby jednotlivých oblastí v domácnosti je v grafu 1. Spotřebiče, které mohou počkat na nízký tarif, jsou akumulární kamna, pračka, myčka, či bojler. Z toho vyplývá, že v ideálním případě až 84% elektrické energie může být odebráno v nízké sazbě. Pro srovnání výhodnosti tarifů jsem použil ceník společnosti E. ON. Pro tarif bez rozlišení vysoké a nízké sazby platí cena 4 574,74 korun za 1 Mwh. Při průměrné spotřebě 8 kwh denně je cena energie za rok asi 13 170 korun. Pokud použijeme příslušný tarif pro zvýhodněnou cenu nízké sazby, je cena energie 3 564,12 korun ve vysoké sazbě a 1 849,58 korun v nízké sazbě. Pro náš ideální případ, kdy odběru v nízkém tarifu činí 84% je cena energie 6200 korun za rok. K celkové ceně energie je zapotřebí přičíst stále poplatky, které jsou pro oba tarify stejné, navíc měsíční plat za příkon dle hlavního jističe. Zvolíme-li jistič nad 3x25 A do 3x32 A včetně, platby jsou 103 a 358 korun měsíčně. Celková cena je tedy pro tarif s jednou sazbou 14 406 korun a pro tarif s dvojitou sazbou 10 496 korun ročně. Úspora tedy činí 3910 korun, což je 27%. To je ovšem spotřeba pro ideální případ, kdy počítáme s akumulacím topením a ohřevem vody elektrickým bojlerem. Pro ohřev vody a topení se však často používají plynové kotle a bojler. Tím není možné použít nejvýhodnější tarify a použitelnost nízké sazby klesá.



Graf 1 Rozložení spotřeby elektrické energie v domácnosti



## Závěr

V této práci jsem rešeršně zpracoval oblasti problematiky spotřeby elektrické energie, a její akumulace. Dále pak související oblastí rozvodu elektrické energie pomocí chytrých sítí a zařízení, které jsou v těchto sítích použitelné. V poslední kapitole jsem spočítal úsporu, které může dosáhnout domácnost při využití tarifu s rozlišením vysoké a nízké sazby.

Využití chytrých sítí je pro budoucnost nezbytné. Problémem může být financování, distributorům se v současné době neoplatí instalovat. Trápí je zajímavý paradox, Unie po nich požaduje, aby přispěly ke snižování spotřeby a emisí skleníkových plynů, ale na druhou stranu jim za vylepšení sítí nenabízí žádnou odměnu. Distributoři volají po tom, aby jednotliví národní regulátoři neoceňovali pouze snižování nákladů, ale více podporovaly také do udržitelných distribučních sítí. I přes tyto obtíže jistě budou chytré sítě nevyhnutelným řešením distribuce elektrické energie.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] M. Cenek a kol. , *Akumulátory od principu k praxi*, FCC PUBLIC, Praha, (2003), ISBN 80-86534-03-0
- [2] M. Libra, V. Poulek, *Zdroje a využití energie*, Česká zemědělská univerzita v Praze, (2007) ISBN 978-80-213-1647-8
- [3] [www.cez.cz](http://www.cez.cz)
- [4] [www.shekel.cz](http://www.shekel.cz)
- [5] [www.eon.cz](http://www.eon.cz)
- [6] [www.zmenaklimatu.cz](http://www.zmenaklimatu.cz)
- [7] [www.vtm.cz](http://www.vtm.cz)
- [8] [http://web.telecom.cz/tyrbach/Zakladni\\_elektr\\_pojmy.pdf](http://web.telecom.cz/tyrbach/Zakladni_elektr_pojmy.pdf)
- [9] [www.enviweb.cz](http://www.enviweb.cz)
- [10] [www.ekolist.cz](http://www.ekolist.cz)
- [11] [www.futuremotion.cz](http://www.futuremotion.cz)
- [12] [www.euractiv.cz](http://www.euractiv.cz)
- [13] [www.ekobydleni.eu](http://www.ekobydleni.eu)
- [14] [www.3pol.cz](http://www.3pol.cz)
- [15] [www.chip.cz](http://www.chip.cz)
- [16] [www.allforpower.cz](http://www.allforpower.cz)
- [17] [www.elektrarny.xf.cz](http://www.elektrarny.xf.cz)
- [18] <http://cs.wikipedia.org>