



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

# „SMART CITIES“ A DECENTRALIZOVANÁ VÝROBA ENERGIE

„SMART CITIES“ AND DECENTRALIZED PRODUCTION OF ENERGY

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Alexandra Opátová

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Špiláček

BRNO 2018



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Studentka: **Alexandra Opátová**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Michal Špiláček**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### „Smart cities“ a decentralizovaná výroba energie

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Oblast zásobování měst teplem a elektřinou pomocí decentralizovaných zdrojů je v posledních letech velmi aktuální téma. Legislativní změny, spolehlivost, bezobslužnost, environmentální dopady, investiční a provozní náklady, úspora paliv, to vše jsou aspekty, které ovlivňují výběr vhodné technologie.

Zadání práce předpokládá vytvoření rešerše na téma „smart cities“ s důrazem na možnost využití decentralizované výroby tepla a především elektřiny. Středem zájmu tak budou moderní způsoby výroby a skladování elektrické energie.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- Vypracovat rešerši o možnostech „smart cities“.
- Vypracovat rešerši o vhodných technologiích pro decentralizovanou výrobu energie pro "smart cities".
- Vypracovat rešerši o moderních technologiích výroby a skladování elektrické energie.

#### **Seznam doporučené literatury:**

DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. : il. ISBN 80-7300-118-7.

PEHNT, Martin, Martin CAMES, Corinna FISCHER, Barbara PRAETORIUS, Lambert SCHNEIDER, Katja SCHUMACHER a Jan-Peter VOB. Micro cogeneration: Towards decentralized energy systems. Berlin: Springer, 2010, xv, 346 s. : grafy. ISBN 978-3-642-06498-2.

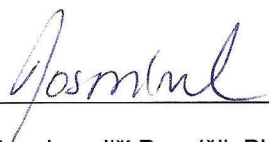
KADRNOŽKA, Jaroslav. Tepelné elektrárny a teplárny. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, 607 s.

QUASCHNING, Volker a Václav BARTOŠ. Obnovitelné zdroje energií. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. : il., mapy. ISBN 978-80-247-3250-3.

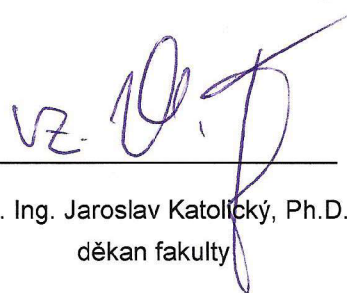
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 27-10-2017





doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Táto bakalárska práca popisuje princípy decentralizovanej výroby energie spolu s výhodami, či výzvami ktoré patria ku problematike. V prvej kapitole je popísaný koncept „smart city“ a oblasti využitia. Taktiež sú popísané možnosti, ktoré ponúka modelovanie mestských častí ako celku. Druhá kapitola sa sústreďuje na koncept decentralizovanej výroby energie a výhod, ktoré môže takýto systém ponúknuť. Nasledujúce kapitoly pojednávajú o kogeneračných jednotkách a možnosti uskladnenia elektrickej energie. Posledná kapitola sa zameriava na problematiku integrovania decentralizovanej výroby energie do siete a porovnáva rôzne matematické modely a spôsoby regulácie.

### **Klíčová slova**

Smart city, decentralizovaná výroba energie, kogeneračná jednotka

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis describes the principles of decentralized energy sources, together with the advantages or challenges that concern the problem. The first chapter describes the concept of "smart city" and the field of use. There are also described options for modeling of urban areas as a unit. The second chapter focuses on the concept of decentralized power generation and the benefits that such a system can offer. The following chapters deal with cogeneration units and electricity storage options. The last chapter focuses on a issue of integrating decentralized power generation into the grid and compares various mathematical models and possibilities of regulation.

### **Key words**

Smart city, decentralized energy sources, cogeneration unit

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

OPÁTOVÁ, A. „Smart cities“ a decentralizovaná výroba energie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Špiláček.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „*Smart cities*“ a decentralizovaná výroba energie vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Alexandra Opátová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ďakujem Ing. Michalovi Špiláčkovi za trpezlivosť, usmerňovanie, cenné rady a príjemný prístup počas celej našej spolupráce pri vypracovaní tejto záverečnej práce.

## OBSAH

ÚVOD .....	11
1 SMART CITY .....	12
1.1 Využitie CP systémov .....	12
1.2 Big Data .....	13
1.3 Modelovanie mestskej časti .....	14
1.3.1 Simulácia prúdenia vzduchu .....	14
1.3.2 Simulácie slnečného svetla .....	15
1.4 Prekážky a výzvy pri budovaní „smart city“ .....	16
2 DECENTRALIZOVANÁ VÝROBA ENERGIE .....	17
2.1 Dôvody pre decentralizovanú výrobu energie .....	19
3 KOGENERAČNÁ JEDNOTKA .....	20
3.1 Výhody kogenerácie .....	20
3.2 Kogeneračné systémy .....	21
3.2.1 Komerčné a nekomerčné KS .....	21
3.2.2 Horné a dolné KS .....	21
3.2.3 Typy turbín v KS .....	22
3.3 Porovnanie primárnych jednotiek .....	23
3.4 Kogeneračná technológia .....	24
3.5 Trigenerácia .....	26
3.6 Určujúce technické parametre pri kogenerácii .....	26
3.6.1 Pomer Teplo-výkon .....	26
3.6.2 Kvalita tepelnej energie .....	27
3.6.3 Záťažové vzory .....	27
3.6.4 Energetické parametre .....	27
4 ÚSCHOVA ENERGIE .....	28
4.1 BATÉRIE .....	29
4.2 Úschova energie v batériách .....	29
4.3 Kvalitatívne porovnanie základných druhov batérií .....	29
4.4 Lítium-iónové batérie .....	30
4.5 Redoxové batérie- systém s plným prietokom .....	30
4.6 Možnosti úschovy energie .....	31
5 INTEGROVANIE DECENTRALIZOVANEJ VÝROBY ENERGIE DO SIETE .....	33

5.1	Vplyv decentralizovaných zdrojov v sieti .....	33
5.2	Regulácia zdrojov energie .....	33
5.3	Regulácia siete .....	34
5.3.1	Konvenčné metódy .....	34
5.3.2	Metódy inteligentného vyhľadávania .....	35
ZÁVER	.....	36
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	.....	38
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	.....	41

## ÚVOD

Téma inteligentných miest sa dostáva v posledných rokoch do popredia, napríklad kvôli environmentálnym, investičným alebo bezpečnostným dôvodom. Táto rešeršná práca popisuje problematiku decentralizácie. Môže byť považovaná za informačný úvod, ako pre potreby výskumu, tak v oblasti implementovania prvkov do reálnych projektov. Oblasť „smart city“ zároveň ponúka širokú škálu podtém na ktoré sa dá nadviazať v budúcich prácach, týkajúcich sa regulácie, úschovy energie či výroby energie v lokálnom meradle.

Táto bakalárska práca pojednáva o podobách našich miest do ktorých sa sťahuje čoraz väčšia časť obyvateľstva a možných následkoch z hľadiska energetických sietí. Taktiež tu zákonite vznikajú zložité systémy hromadnej dopravy, či zásobovania. Mestá ktoré sa snažia naplňať myšlienky „green“ alebo „smart“ myslia pri tvorbe infraštruktúry aj na energetickú nenáročnosť a spoľahlivú energetickú sieť. Z týchto dôvodov sa budovy či dopravné uzly monitorujú senzormi a meračmi, ktoré zhromažďujú dáta a vytvárajú simulácie modelov mesta. Tieto procesy popisuje prvá kapitola.

Práca následne popisuje dôvody, prečo sa trend decentralizovanej výroby energie dostáva v poslednom období do popredia. Sú to dôvody ekologické, keď sa krajiny snažia o zníženie svojej uhlíkovej stopy, bezpečnostné, z hľadiska odolnosti siete či ekonomické, ak sa prihlíada na finančnú záťaž pri budovaní rozvetvených sietí.

Základom decentralizovanej siete sú také výrobné jednotky, ktoré vedia vyplniť potrebu po všetkých druhoch energie, najčastejšia je však kombinácia tepelnej a elektrickej. V práci sú priblížené práve takéto kogeneračné jednotky. Sú porovnané rôzne systémy výroby energií, taktiež ako rôzne typy turbín. Je spomenutá vhodnosť jednotlivých systémov podľa požadovaných parametrov, spolu s výhodami či nevýhodami.

Na lokálnu výrobu energie z obnoviteľných zdrojov či kogeneračných jednotiek priamo nadväzuje naša schopnosť energiu efektívne uskladniť. Veterná a solárna energia sú generované pri určitom počasí a nie podľa dopytu, čo znamená že faktory ovplyvňujúce tvorbu energie nie je možné predpovedať. Pri vzniku situácie kedy ponuka neodpovedá požiadavkám spotrebiteľa, našli svoje uplatnenie veľkokapacitné batérie, ktoré sú v posledných rokoch predmetom intenzívneho vývoja. V práci sú zmienené základné chemické princípy popredných systémov pre uskladnenie energie, aj najnovšie použitie takýchto batérií v reálnych projektoch.

Práca je zakončená popisáním problematiky regulácie takýchto decentralizovaných zdrojov energie. Pri rozšírení elektrickej siete, sa presúvanie zdrojov v správny čas, či kalkulácia toku energie stáva zložitým problémom, vyžadujúci spoľahlivé monitorovacie zariadenia či matematické modely. Množstvo malých zdrojov energie pripojených na spoločnú sieť so sebou prináša riziká spojené s kvalitou, alebo častými zmenami napätia a frekvencie. Regulácia je čiastočne možná priamo v jednotke generujúcej energiu, ako sú fotovoltaičné panely, mikroturbíny či veterné elektrárne. Kapitola ďalej v krátkosti charakterizuje rôzne spôsoby regulácie so základom v analytickej matematike, optimalizácii či inteligentnom vyhľadávaní.

## 1 SMART CITY

Pojem „smart city“ sa stal synonymom pre budúcu podobu našej infraštruktúry, ktorá podlieha digitalizácií. Základnou úlohou „smart city“ je udržateľnosť v troch hlavných odvetviach. Sociálnych, ekonomických a environmentálnych. Informačné technológie a spracovávanie údajov v CP systémoch (*cyber-physical*) môžu pomôcť efektívnej výrobe energie, finančným úsporám, alebo k rýchlejšej komunikácii medzi inštitúciami. [1] „Smart city“ môže byť definované rôznymi spôsobmi. Základné znaky sú napríklad:

- Zámerné a strategické zavádzanie informačno-komunikačných technológií v rámci mestskej infraštruktúry. Model digitálneho mesta nie je možné realizovať len softvérovými opatreniami ale aj hardvérovým vybavením, ako sú senzory, merače a iné zariadenia.
- Predpoklad, že cieľové obyvateľstvo aktívne spolupracuje pri formovaní mesta prostredníctvom odovzdávania dát a spätnej väzby. Je veľmi dôležité aby komunita zdieľala, v rámci možností, rovnakú víziu budúcnosti, či verila v schopnosti lokálne volenej vlády. Tieto spoločenské aspekty sú kritické pri neskoršom prezentovaní výsledkov pre širokú verejnosť.
- Občania vykonávajú vedomé kroky k „zeleným mestám“ redukovaním odpadov, racionálnym nakladaním s vodnými zdrojmi či využívaním verejnej dopravy. Taktiež sa aj mesto snaží uľahčiť prístup k takýmto službám, napríklad vybudovaním kvalitných rozvodov pitnej vody, budovaním cyklotrás či rozmiestnením dostatočného počtu kontajnerov určených pre recykláciu. [2]

### 1.1 Využitie CP systémov

Systémy využívajú senzory, merače a nástroje na vyhodnocovanie získaných informácií môžu byť použité v najrôznejších odvetviach mestského rozvoja. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené príklady v akých oblastiach využitia môžu byť CP systémové aplikácie využité a aký sa od nich očakáva výsledok podporujúci myšlienku „smart city“ alebo „smart grid“ (*inteligentná sieť*).



Tab. 1 Využitie CP systémov pre účely „smart city“ [3],

Oblasť využitia	CPS aplikácia	Očakávaný výsledok
Infraštruktúra	Ustanovenie bezdrôtového spojenia medzi občanmi a inštitúciami	Obsiahla sieť podporujúca prúdenie informácií
Energia	Integrovať technológie „smart grid“ ktoré budú kontrolovať spotrebu energie, optimalizáciu decentralizovanej výroby energie a obnoviteľných zdrojov	Nižšia spotreba fosílnych palív, vyššia efektívnosť, lepšia integrácia obnoviteľných zdrojov do siete
Mobilita	Využívanie geografických informácií, informácie o pohybe osôb pre koordináciu dopravy. Aplikácie pre presun tovarov mestom, či bicyklov v hromadnej doprave	Redukcia spalín vo vzduchu, redukcia emisií aj hluku
Výstavba	Také rozmiestnenie budov, aby boli zabezpečené dodávky hmotného aj nehmotného vybavenia, ako slnečné svetlo, cirkulácia vzduchu či dostatok zelene.	Zlepšenie podmienok pre život, redukovanie potreby pre klimatizáciu či umelé svietenie.
Bezpečnosť	Pokročilé svietenie využívajúce pohybové senzory aj na uliciach, verejných priestoroch. Koordinácia dopravných semaforov môže odpovedať frekvencií ich používania	Zlepšenie bezpečnosti, prevencia voči vandalizmu aj závažnej kriminalite
Recyklácia	Ustanovenie kruhovej ekonomie v oblastiach recyklácie zdrojov (voda, odpad), optimalizovať ponuku a dopyt	Zníženie emisií, a odpadových látok
Priemysel	Výberová integrácia tovarov a služieb do mestského prostredia	Zvýšená diverzita lokálnych podnikov, a ponúk práce
Vzdelanie	Zahrnutím ICT prvkov vo výuke poskytnie prípadným budúcim zamestnancom komunity náhľad do problematiky a občanom vysvetlí význam týchto procesov	Zlepší pripravenosť ľudí na budúce ekonomické úlohy na trhu práce, podporí sociálnu inklúziu
Vláda	Spustenie internetových služieb ako „e-vláda“ a podpora digitalizácie.	Prispieje ku kontrole vlády, zníži nutnosť fyzickej prítomnosti na úradoch

## 1.2 Big Data

Realizácia „smart city“ so sebou prináša vytvorenie extrémne prepojenej siete ktorá zbiera informácie masívnych objemov, líšiacich sa v rýchlosti aj výpovednej hodnote. Na spracovanie týchto údajov je potrebné nielen dostatočné úložisko ale aj nástroje, techniky a postupy ako dáta analyzovať a správne vyhodnotiť.

Analýza veľkých dát (*Big Data Analysis*) môže byť použitá na riadenie hromadnej dopravy, verejného osvetlenia, odvozu odpadu, alebo na menej tradičné odvetvia, napríklad na kontrolu epidémií. V piatej kapitole bude podrobnejšie popísané aké

modely sa môžu na základe takýchto dát využívať v súvislosti s reguláciou zdrojov energie pochádzajúcej z obnoviteľných zdrojov a kogeneračných jednotiek. [3]

### 1.3 Modelovanie mestskej časti

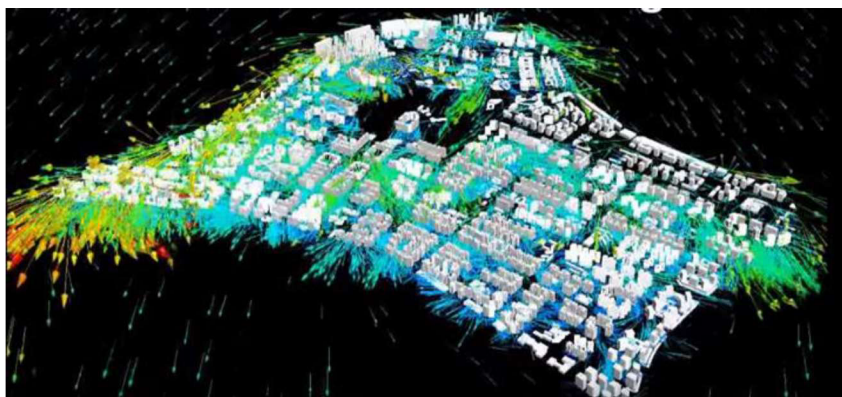
Inštitúcie ktoré sa venujú predikciám v oblasti rozvoja očakávajú, že až 88 miest po celom svete bude v roku 2025 označené ako „smart city“. [4] Ekonomické napredovanie veľkomiest ako New York, Vancouver, Amsterdam či Dubaj, spôsobilo, že mestský architekti získavajú čoraz väčší podiel pri formovaní mesta. V dnešnej dobe nie je nezvyčajné, ak vznikne celá mestská časť s parkami, ubytovacími jednotkami a celou infraštruktúrou ako riadený proces, a nie ako výsledok dlhoročného osídľovania.

Jedným z takýchto miest je aj Singapur. Úrad pre bývanie a výstavbu sa zaoberal krízou s nedostatkom ubytovacích jednotiek už v 60tych rokoch a do dnešného dňa postavil 23 mestských častí, v ktorých býva až 80% percent populácie. Jednou z takýchto mestských častí je aj Punggol, ktorého výstavba sa začala v roku 1998 pod názvom „Punggol 21“ nasledovaná projektom „Punggol 21 plus“. Dôležité faktory pri výstavbe boli udržateľnosť, energetická výhodnosť, a všetky ostatné podmienky, vďaka ktorým sa môže mestská časť popísať ako „green“ alebo „smart“. [5]

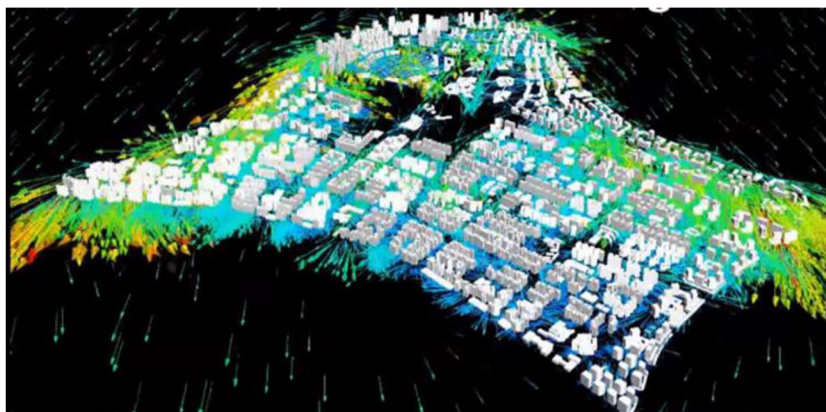
Prvým krokom pre navrhnutie mestskej časti je získanie údajov o existujúcej infraštruktúre. Poloha budov, ciest, prípadne parkov. Nasleduje práca so štatistickými údajmi a predpoveďami ohľadom spotreby energie, nakladaním s odpadom či vodou. S týmito informáciami je možné vymodelovať mestskú časť ktorá posluží ako platforma na rôzne simulácie. Príklad rôznych využití dát je uvedený v nasledujúcej podkapitole, kde sa predikovalo prúdenie vzduchu, postup tieňov a slnečného svetla. [6]

#### 1.3.1 Simulácia prúdenia vzduchu

Na obrázku 1 vidíme simuláciu prúdenia vzduchu cez mestskú časť Punggol. Oranžové a červené vektory zobrazujú kvalitné prúdenie vzduchu, ktoré je žiadané pre tropické oblasti. Po premiestnení parkov a budov sa podarilo zlepšiť prúdenie vzduchu ako je zobrazené na obrázku 2. Táto úprava so sebou prináša chladnejší vzduch a lepšiu cirkuláciu, čo sa odrazí na zníženej potrebe obyvateľstva využívať klimatizáciu, čo vedie k úsporám energie.



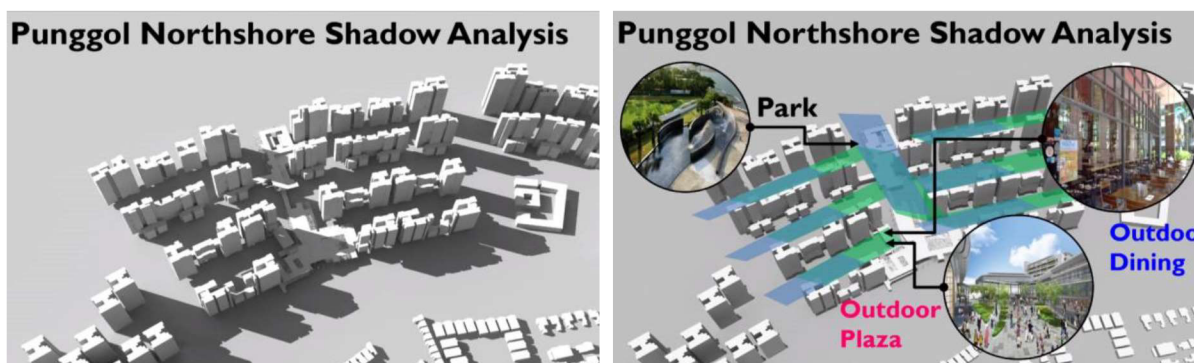
Obr. 1 Trojrozmerná virtuálna mapa mestskej časti. Simulácia prúdenia vzduchu mestom. [6]



Obr. 2 Prúdenie vzduchu mestom, po presunutí budov sa zlepšila cirkulácia vzduchu. [6]

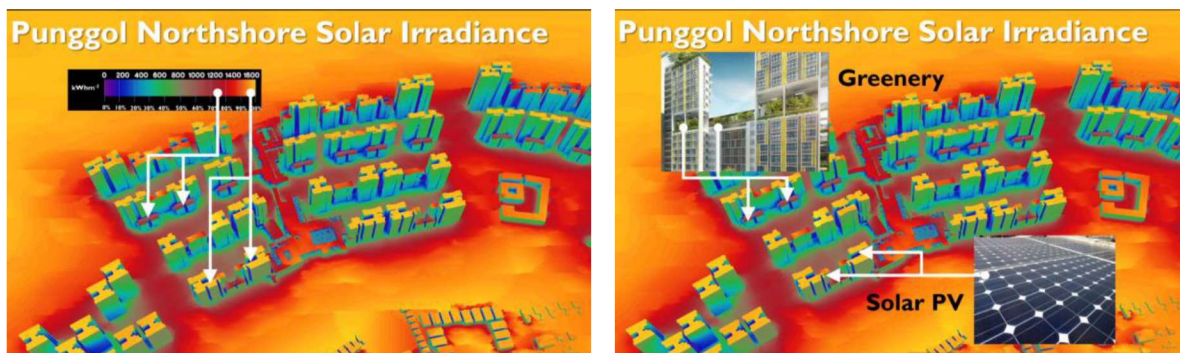
### 1.3.2 Simulácie slnečného svetla

Počítačové simulácie vedia predpovedať dopad tieňov počas dňa. Tieto výsledky pomôžu mestskému architektovi umiestniť polyfunkčné budovy, parky, detské ihriská a spoločné priestory na najvýhodnejšie pozície.



Obr. 3 Simulácia dopadu slnečného svetla a umiestnenie verejných objektov [6]

Simulácia na obrázku 4 predpovedá aj dopad slnka na jednotlivé budovy, vykreslí plochy ktoré sú najviac ožiarené. Tieto údaje poslúžia na umiestnenie solárnych panelov na energeticky výhodné miesta, takisto ako umiestnenie strešných záhrad do miest kde dopadá mierne žiarenie. Takéto opatrenia maximalizujú potenciál solárnych panelov a vylepšia kvalitu vzduchu.



Obr. 4 Simulácia dopadu slnečného žiarenia [6]



#### **1.4 Prekážky a výzvy pri budovaní „smart city“**

Napriek mnohým inováciám v odvetví integrovaných systémov, pokrok v oblasti inteligentných miest sa dá považovať za pomerne pomalý. Môžu za to konkrétne faktory, spoločenské, bezpečnostné aj technické.

Prípadové štúdie ukazujú pomerne rozsiahle chápanie problematiky, s ktorými sa mestá stretávajú. Prekážky v riešení určitých problémov predstavujú chýbajúce praktické riešenia ktorými sa môžu mestá inšpirovať. Zatiaľ nebolo zriadené žiadne plne integrované inteligentné mesto, ktoré by preukázalo výhody takéhoto systému. Vždy sa jedná len o čiastkové alebo komunitné projekty. V dôsledku toho nie sú k dispozícii žiadne spoľahlivé informácie pre mestá alebo poskytovateľov služieb o nákladoch, alebo o ťažkostiach spojených s implementáciou CP systémov.

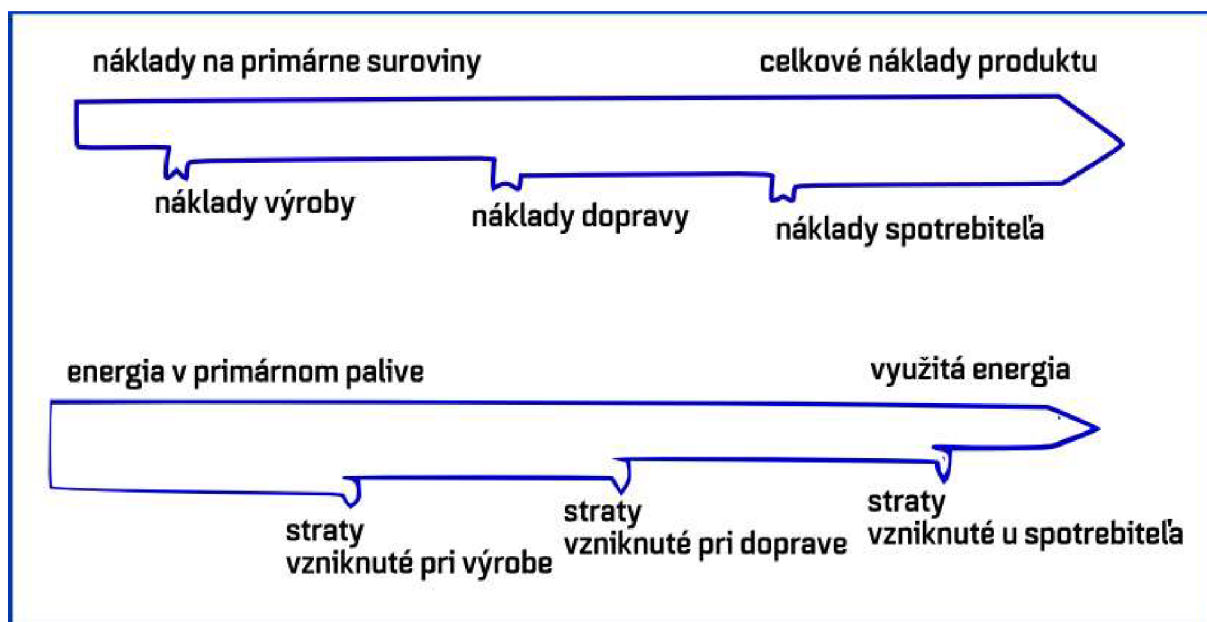
Niektoré výhody sa v inteligentnej sieti prejaví akonáhle sú systémy plne integrované, kvôli takzvaným sieťovým efektom, to znamená že čím väčší počet účastníkov v konkrétnom systéme, tým sa dosiahnu väčšie výhody pre všetkých používateľov. Prípadná citlivosť údajov nabáda k opatrnosti a nechota občanov zverovať údaje o polohe, čase či spotrebe rôznych tovarov a ich poskytovanie spoločnostiam či mestským úradom je pochopiteľná. [7]

## 2 DECENTRALIZOVANÁ VÝROBA ENERGIE

Bezpečná, spoľahlivá a cenovo dostupná energia sa stala základom pre ekonomickú stabilitu a vývoj. Čoraz väčší dopyt po energii so sebou nesie aj znečistenie vo forme skleníkových plynov a emisií. Podľa výskumu Medzinárodnej energetickej agentúry z roku 2007, stúpol objem oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) v atmosfére o štvrtinu v porovnaní so situáciou v roku 1997. [8]

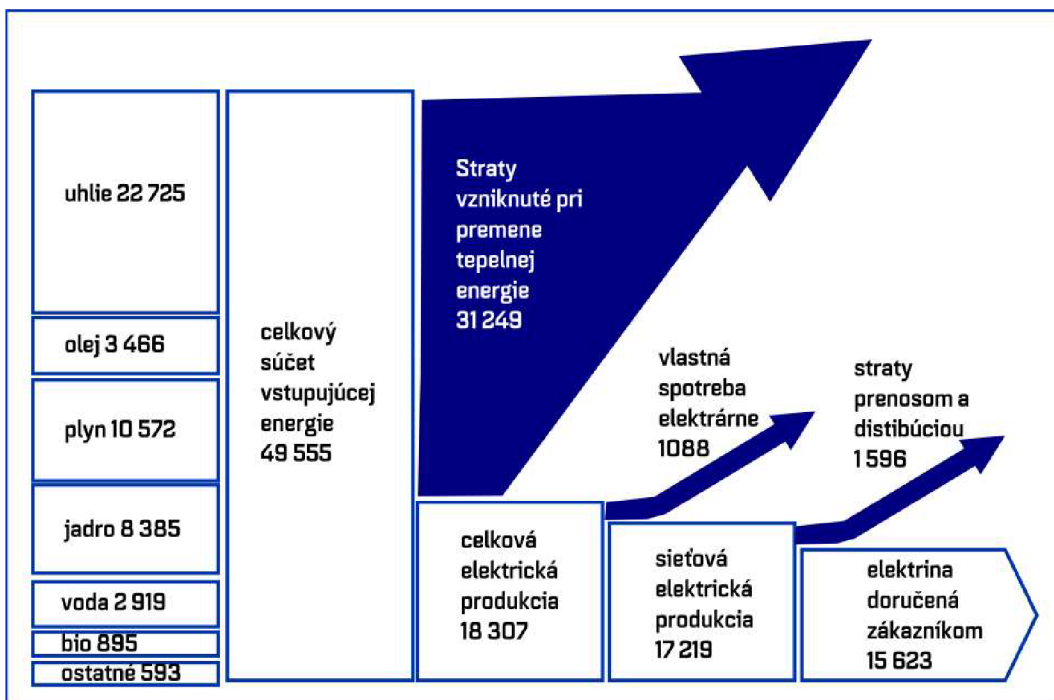
Snaha o riešenie environmentálnej a energetickej situácie vyústila v súčasný trend využívania obnoviteľných zdrojov energie. Do roku 2020 plánuje EU znížiť emisie o 20% a Česká republika sa zaviazala, že do roku 2020 bude vyrábať 13% energie z obnoviteľných zdrojov. V blízkej budúcnosti však bude pretrvávať naša závislosť na fosílnych palivách, preto sa nasledujúca kapitola bude sústreďovať na prepojenie decentralizovanej výroby energie a efektívneho spaľovania zdrojov. [9]

Súčasnú energetickú hospodárstvo môžeme popísať ako reťazec procesov, počínajúc získaním primárnych surovín, až po využitie elektrickej, mechanickej alebo tepelnej energie spotrebiteľom. Pri každom výrobnom procese sa vyskytnú náklady ktoré sa premietnu v cene finálneho produktu. Energetické premeny sa vyznačujú tým že postupnou transformáciou a prepravou dochádza k stratám vstupnej energie. Takmer polovica vzniknutých emisií sa dá eliminovať efektívnym presunom energie k spotrebiteľovi. Tieto straty v sieti, znázornené na obrázku 5, sú navyšené o straty u spotrebiteľa, ktorý transformuje energiu energetickými spotrebičmi (vykurovanie, svietenie, varenie...). [10], [11]



Obr. 5 Schéma navyšovania ceny a strát energie na ceste k spotrebiteľovi [10]

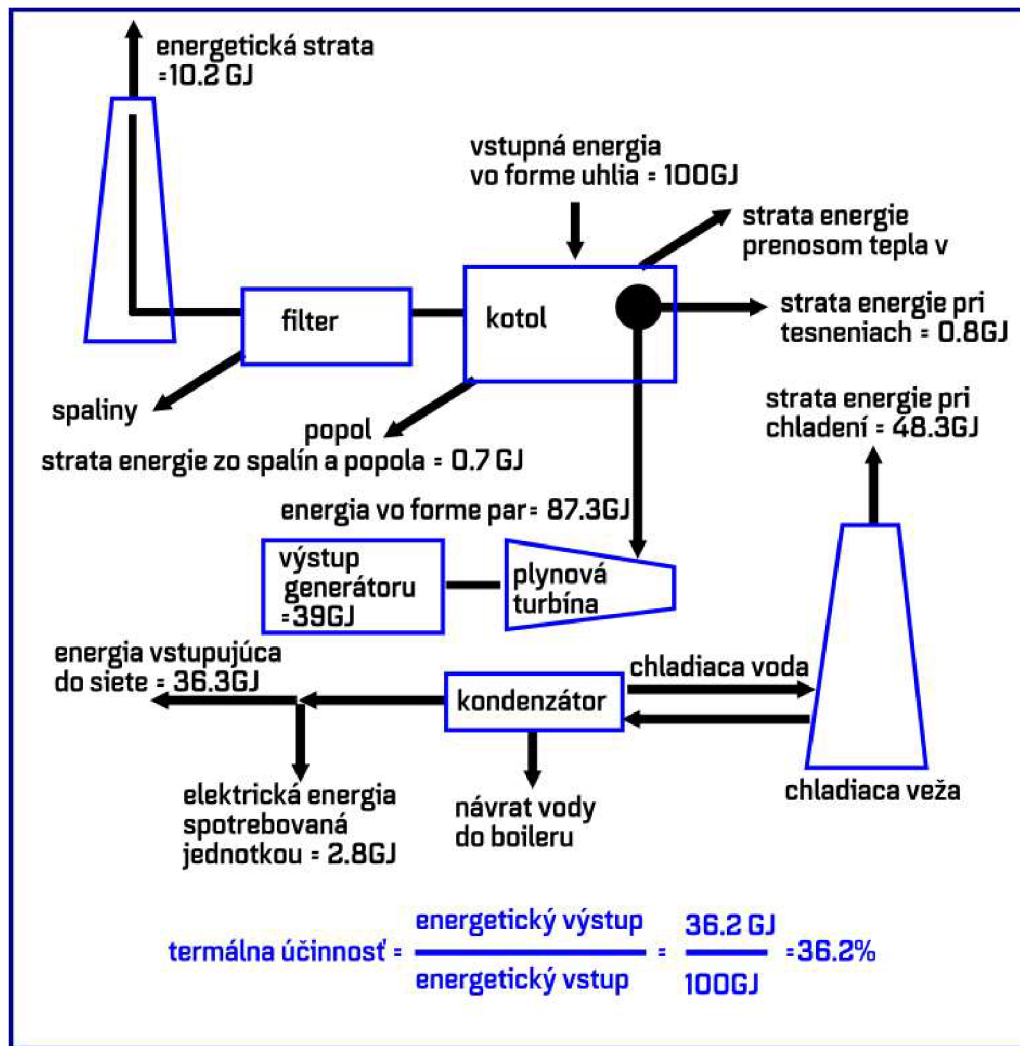
Priemerná efektívnosť premeny na elektrickú energiu bola desiatky rokov na úrovni 31-37%, a takmer dve tretiny energie určenej na výrobu elektriny sa stratila vo forme tepla. Ďalšie straty na úrovni 9% sa vytvárali pri prenose a distribúcii elektriny z centrálnych elektrární cez elektrickú sieť k spotrebiteľovi. Vo výsledku sa iba tretina energie dostala k spotrebiteľovi, ako je ukázané na obrázku 6. [11]



Obr. 6 Znáznornenie celosvetové straty energie na úrovni 68% predtým, ako sa dostane k spotrebiteľovi. [11]

Účinnosť typickej tepelnej elektrárne pri premene paliva (uhlia) na elektrickú energiu je približne 35%. Zvyšných 65% energie v podobe tepla môže byť využitých alebo stratených. 10 až 15% strát je spojených s prenosom a distribúciou energie v sieti. Schéma typickej tepelnej elektrárne s miestami kde nastávajú straty je uvedená na obrázku 7. Ide o veľkokapacitnú výrobu energie, napríklad o uhoľnú elektrárňu, kde sa celkové náklady znižujú s veľkosťou produkcie. Aby sa aspoň čiastočne vykryli straty spôsobené transportom, je finančne výhodné ak sa výrobňa energie umiestni do blízkosti výskytu primárneho zdroja (vodný tok, uhoľné bane). Takýto systém výroby energie sa nazýva *centralizovaný*. [12]

V prípade, ak spotrebiteľ vytvorí vlastný systém ktorý pokryje jeho spotrebu energie, značne zníži dopravné straty elektrickej, ale najmä tepelnej energie. Rozľahlé siete sú nahradené menšími dopravnými vzdialenosťami ktoré majú nižšie investičné a prevádzkové náklady, pričom môžu mať menší vplyv na životné prostredie. Pre takto *decentralizovanú* výrobu energie je typická blízkosť výroby k spotrebiteľovi, pričom prevádzkovateľ môže byť výrobca alebo samotný zákazník. [10]



Obr. 7 Príklad strát a účinnosti v procese premeny 100GJ paliva (uhlia) na elektrickú energiu [12]

O výhodách decentralizovanej výroby energie pojednáva nasledujúca podkapitola 2.1. Problematike napojenia množstva decentralizovaných zdrojov energie na prenosovú sústavu. Možnosti regulácie takejto decentralizovanej siete popisuje piata kapitola.

## 2.1 Dôvody pre decentralizovanú výrobu energie

Decentralizovaná výroba energie, poskytuje teplo a elektrinu lokálne, pre budovy alebo menšie podniky. Takýto systém sa považuje ako efektívny a ekologický, z nasledujúcich dôvodov:

- zníženie emisií CO<sub>2</sub>
- úspora nákladov pre spotrebiteľa, nižšia cena elektrickej energie
- zníženie závislosti na dovoze fosílnych palív, využitie odpadov, príp. biomasy
- zníženie nákladov pri budovaní rozvodných systémov
- zvýšenie stability elektrickej siete v energetickej špičke
- zníži zraniteľnosť energetickej siete voči nepriaznivému počasiu, prírodným katastrofám či teroristickým útokom [13], [14]

### 3 KOGENERAČNÁ JEDNOTKA

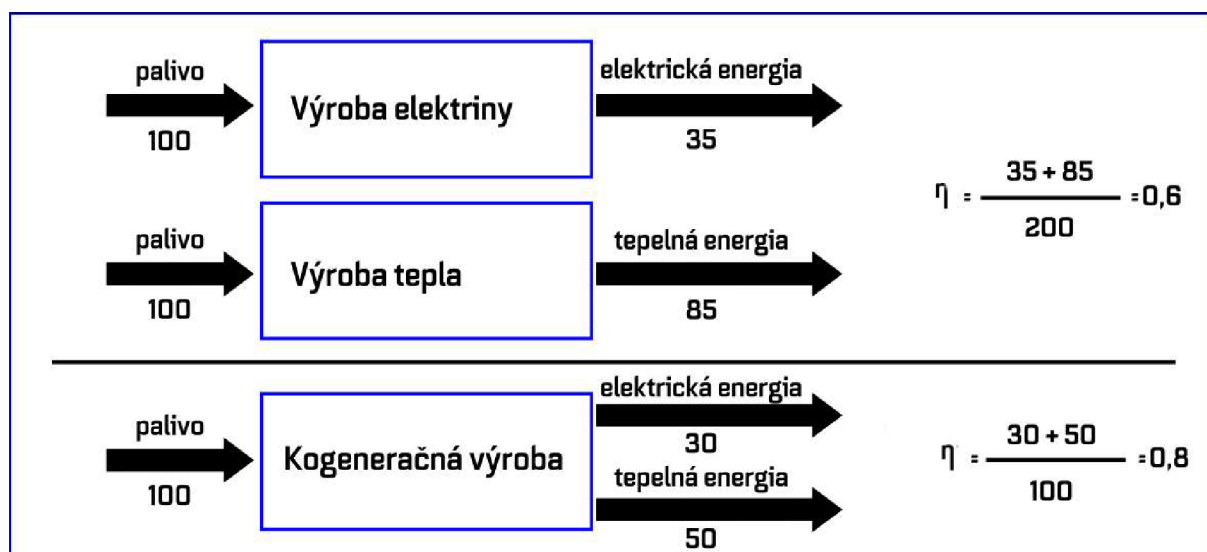
Kogenerácia je sekvenčná produkcia dvoch foriem energie, pôvodom z jedného zdroja. Kogeneračná jednotka je umiestnená blízko miesta kde sa energia spotrebuje, čo taktiež prispieva k vysokej efektívnosti premeny. Typická je kombinácia mechanickej a tepelnej energie. Mechanická energia môže byť využitá v alternátore na produkovanie elektrickej energie, alebo sa môže rotačný pohyb využiť v zariadeniach ako motor, čerpadlo, alebo ventilátor. Termálna energia je využívaná na ohrev vody či produkovanie pary. Najčastejšie je spotrebiteľom využívaná kombinácia tepelnej a elektrickej energie. [10], [15]

Možnosti spotrebiteľa, ako využiť konečnú podobu energie úzko súvisí s vlastnosťami elektrickej a tepelnej energie. Zatiaľ čo elektrická energia sa dá ľahko transformovať na iný druh energie, využitie tepelnej energie závisí značne od teploty, parametru ktorý sa na výstupe nedá navýšiť a jej ďalšie premeny sú obmedzené druhým termodynamickým zákonom. [16]

#### 3.1 Výhody kogenerácie

Kombinovaná výroba energii využíva primárne zdroje efektívnejšie, v porovnaní s oddelenou výrobou elektrickej a tepelnej energie. Na obrázku 8 je porovnanie účinností oddelenej a kombinovanej výroby energii. Jednotka paliva sa premení na elektrickú energiu s účinnosťou 35% a tá istá jednotka paliva sa premení na tepelnú energiu s účinnosťou 85% pri oddelenej výrobe, z čoho vyplýva že dve jednotky paliva sa premenia na energiu s priemernou účinnosťou 60%.

Zvýšenie účinnosti transformácie môže poskytnúť jedna palivová jednotka, ktorá sa v kombinovanej výrobe premení na elektrickú energiu pri účinnosti 30% a na tepelnú energiu pri účinnosti 50%, takže jedna palivová jednotka sa premení na elektrickú a tepelnú energiu s účinnosťou 80%. [10]



Obr. 8 Porovnanie účinností samostatnej a kombinovanej premeny energie. [10]



Spoločná produkcia tepla a elektrickej energie vedie k:

- účinnému využitiu fosílnych palív a redukcii emisií
- možnosti umiestnenia výroby v blízkosti miesta energetického využitia, pričom klesnú straty spôsobené prenosom a distribúciou
- nenáročnému pripojeniu k existujúcim sieťam v priemyselnom, komerčnom alebo bytovom sektore
- zníženiu zaťaženia na životné prostredie
- zvýšeniu konkurencie medzi systémami energetického zásobovania
- stabilnejšej cene energie za predpokladu nemennej ceny paliva [10], [12], [16]

### **3.2 Kogeneračné systémy**

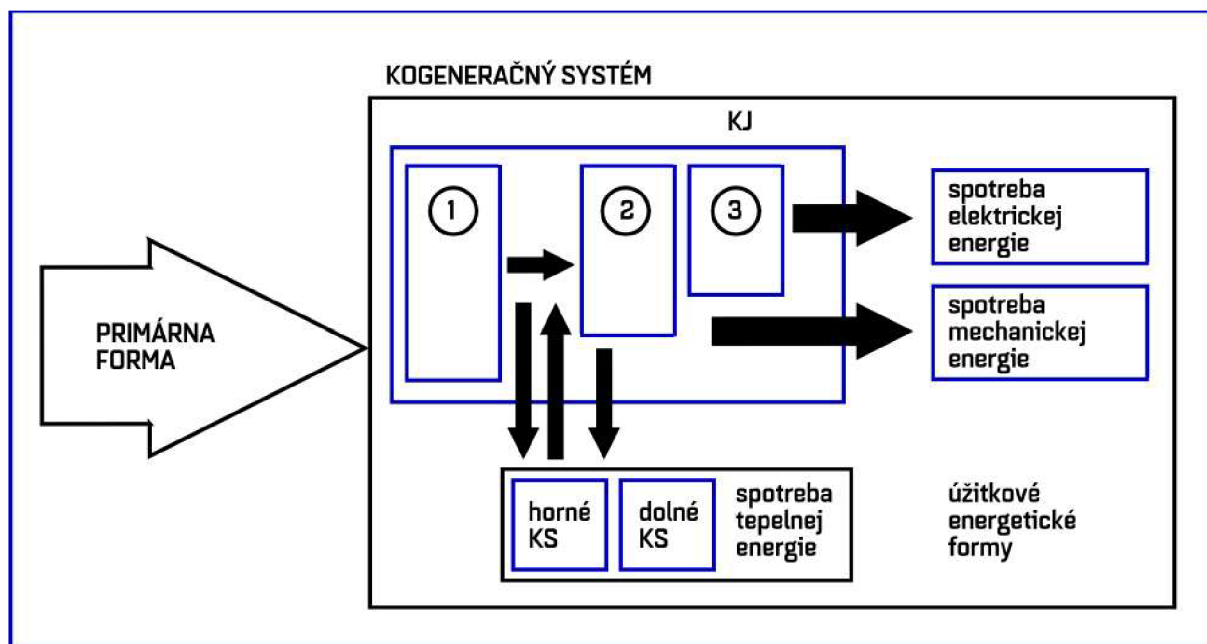
Pojem zahŕňa kogeneračnú jednotku spolu so sieťou ktorá dodáva energie na miesto využitia. KS môžu pracovať ako samostatné systémy slúžiace potrebám spotrebiteľa, alebo ako systém dodávky energii pre viac spotrebiteľov. Preto ich môžeme z hľadiska produkcie rozdeliť na:

#### **3.2.1 Komerčné a nekomerčné KS**

Komerčné KS sú využívané pre zisk vlastníka, vyrobená energia je distribuovaná a predávaná spotrebiteľom. Môže to byť jednotky použité v nemocniciach, kancelárskych priestoroch, školách či polyfunkčných budovách. Nekomerčné KS poskytujú užívateľovi požadované množstvá energii, ale ich prevádzka sa môže zefektívniť čiastočnou komerčnou dodávkou energie pre iných spotrebiteľov, ak to umožňuje legislatíva. [16]

#### **3.2.2 Horné a dolné KS**

V horných KS sa ako prvá vykoná výroba elektrickej energie. Tepelná energia je vedľajší produkt, ktorý sa získava z odvedeného tepla v tepelnom obeh. Tento typ kogeneračných systémov je používanější, pretože dosiahne pomerne vysokú teplotu, ktorá je potrebná na zisk technickej práce v tepelných motoroch a na výrobu elektrickej energie. Dolné KS využívajú palivo na výrobu vysoko-tlakovej termálnej energie v energetickom zariadení (1). Toto teplo má vysoké parametre a je využívané najmä pri technologických procesoch (oceliarske, sklenárske pece, pece na výrobu cementu a pod.) a následne je zavádzané do energetického zariadenia (2)- tepelný motor kde sa získa technická práca (mechanická energia), ktorá sa transformuje v elektrických generátoroch (3) na elektrickú energiu. [10], [15]



Obr. 9 Usporiadane horných a dolných KS [10]

### 3.2.3 Typy turbín v KS

V kogeneračných systémoch je dôležitá voľba vhodnej turbíny. Výber turbíny závisí na množstve tepla a elektriny, ktorú spotrebiteľ požaduje, prípadne od ekonomických faktorov. Systémy môžeme preto deliť na:

#### *KS s parnou protitlakovou turbínou*

V elektrárňach s týmto typom turbíny nie sú potrebné veľké chladiace veže. Tieto parné turbíny sú používané, ak energetický dopyt presiahne 1MW ale neprekročí niekoľko sto MW. Systém má pomerne veľkú zotrvačnosť a preto nie je vhodný pre nepravidelný dopyt. V protitlakovej turbíne sa teplo odoberá na výstupe, kde má vysoké hodnoty teploty a tlaku, ktoré umožňujú ďalšie spracovanie. [10], [18]

#### *KS s kondenzačnou turbínou*

Hlavná výhoda pary ako pohonnej hmoty v porovnaní s inými, je jej použitie pri tradičných (uhlie, zemný plyn) palivách ako aj pri alternatívnych (biomasa). Kondenzačné turbíny sa využívajú najmä výrobu elektrickej energie. Je to spôsobené nízkou teplotou a tlakom kondenzačného tepla ktoré sa odvádza z turbíny do okolia. [10], [19]

#### *KS s plynovou turbínou*

Plynová turbína je výhodná pre jej krátky čas uvedenia do chodu, je flexibilná a pomerne rýchlo odpovedá na zmeny v dopyte energie. Má však nízku efektívnosť pri premene tepla na energiu. Ak výsledné teplo nie je postačujúce, je možné zaviesť doplnkové horenie zemného plynu. [12], [15]

**KS so spaľovacím motorom**

Jedná sa o motory s vnútorným spaľovaním. Teplo sa dá odobrať z dvoch zdrojov - z výfukových plynov s vysokým tlakom a teplotou (450°C- 650°C), alebo z chladiaceho systému s nízkym tlakom a teplotou v rozmedzí 80 až 100°C. Z celkového množstva odchádzajúceho tepla je možné regenerovať 70%. Kvalita tepla nie je príliš vysoká, preto je systém vhodný pre spotrebiteľa ktorého hlavný záujem je získanie elektrickej energie. Hlavnou pohonnou hmotou je diesel, avšak dajú sa použiť vykurovacie oleje či zemný plyn. Pretože hlavná úloha paliva je premena na elektrickú energiu, jedná sa o horný KS a odpadové teplo po spaľovaní sa využíva na ohrev. [10], [12]

**KS s mikroturbínou**

Jedná sa o plynové turbíny malého výkonu ktoré pracujú pri vysokých otáčkach. Tlakový pomer pre turbínu je väčší a vstupné teploty vyššie. Tieto parametre so sebou prinášajú zvýšené požiadavky na materiály, pretože mikrotubíny sa pohybujú rýchlosťou až 100 000 ot/min. Technologicky náročnejšia je aj premena na elektrickú energiu, keďže sa využíva vysokofrekvenčný generátor s následnou úpravou parametrov elektriny. Použitím výmenníku spalín na predohrev vzduchu, sa výrazne zvyšuje účinnosť, ale znižuje sa teplota využiteľná pri dodávke tepla. [10]

**3.3 Porovnanie primárnych jednotiek**

V tabuľke 2 je porovnanie hlavných výhod a nevýhod rôznych primárnych jednotiek s ohľadom na možnosti ich využitia pre kombinovanú výrobu energie a tepla. [10] V tabuľke 3 sú uvedené varianty turbín, a ich výhody a nevýhody ktoré sa musia zväžiť pri voľbe jednotky. [12] V tabuľke 4 sú uvedené predpokladané prevádzkové parametre, ako rozsahy výkonov a účinností. [10]

Tab. 2 Porovnanie primárnych jednotiek [10]

Typ Primárnej jednotky	Výhody	Nevýhody
<b>Palivové články</b>	Nízke emisie, nízky hluk, rýchla inštalácia, vysoká účinnosť, široký energetický pomer	Náklady, doba životnosti, malá hustota energie, dlhšia štartovacia doba, korozívne účinky
<b>Parné turbíny</b>	Vysoká celková účinnosť, široká škála palív, veľké výkonové rozpätie, dlhá životnosť	Nízky teplárenský modul, vysoké náklady, pomalý štart
<b>Plynové turbíny</b>	Vysoká spoľahlivosť, konštantné a vysoké otáčky, vhodný energetický pomer, relatívne nízke investičné náklady a emisie, rozsah využiteľných palív (nafta, LPG, zemný plyn, odpadový plyn)	Nízka variácia výkonov, nižšia mechanická účinnosť oproti spaľovaciemu motoru, vysoké nároky na kvalitu paliva, dlhšia doba uvedenia do prevádzky
<b>Spaľovacie motory</b>	Relatívne nízke investičné náklady, veľký technický rozsah zaťaženia-30-100%, rýchly štartovací čas,	Nutné chladenie, vysoké náklady na údržbu, veľké hodnoty nízkofrekvenčného hluku
<b>Mikroturbíny</b>	Vysoká spoľahlivosť, jednoduchá inštalácia, nízke náklady na údržbu, prijateľná hladinu hluku, vysoká teplota spalín pre ďalšie využitie	Náklady na materiály a doplnkové zariadenia

Tab. 3 Porovnanie rôznych turbín [12]

Varianta	Výhody	Nevýhody
Spätná turbína	Vysoká účinnosť palivovej premeny	Nízka flexibilita v návrhoch a prevádzke
Parná turbína a horenie paliva v kotli	Jednoduchá elektrárňa, Dobre spracuje menej kvalitné palivo	Vyššia cena, nízka účinnosť paliva, požiadavky na chladenie vody, vyššia záťaž na prostredie.
Plynová turbína a zber odpadového tepla	Účinnosť paliva, jednoduchá elektrárňa, rýchla odozva turbíny, menšia záťaž prostredia, vysoká flexibilita pri prevádzke	Stredná účinnosť pri čiastočnom zaťažení, Limitované použitie pri málo kvalitných palivách
Kombinovaná plynová a parná turbína so zberom odpadového tepla	Optimálna účinnosť paliva, Relatívne nízka cena, rýchly štart a zastavenie, Vysoká flexibilita pri prevádzke	Priemerný účinnosť pri čiastočnom zaťažení Limitované použitie pri málo kvalitných palivách

Tab. 4 Parametre primárnej jednotky pre využívanie v kogeneračnej jednotke [10]

Typ primárnej jednotky	Elektrický výkon	Elektrická účinnosť	Celková účinnosť
	[MW]	[%]	[%]
Palivové články	0,04-50	37-45	85-90
Parná turbína	0,5-100	14-35	60-85
Plynová turbína	0,1-100	25-40	60-80
Vznetový motor	0,07-50	35-45	60-85
Zážihový motor	0,015-2	27-40	60-80
Mikroturbína	0,025-0,25	30-40	65-85

### 3.4 Kogeneračná technológia

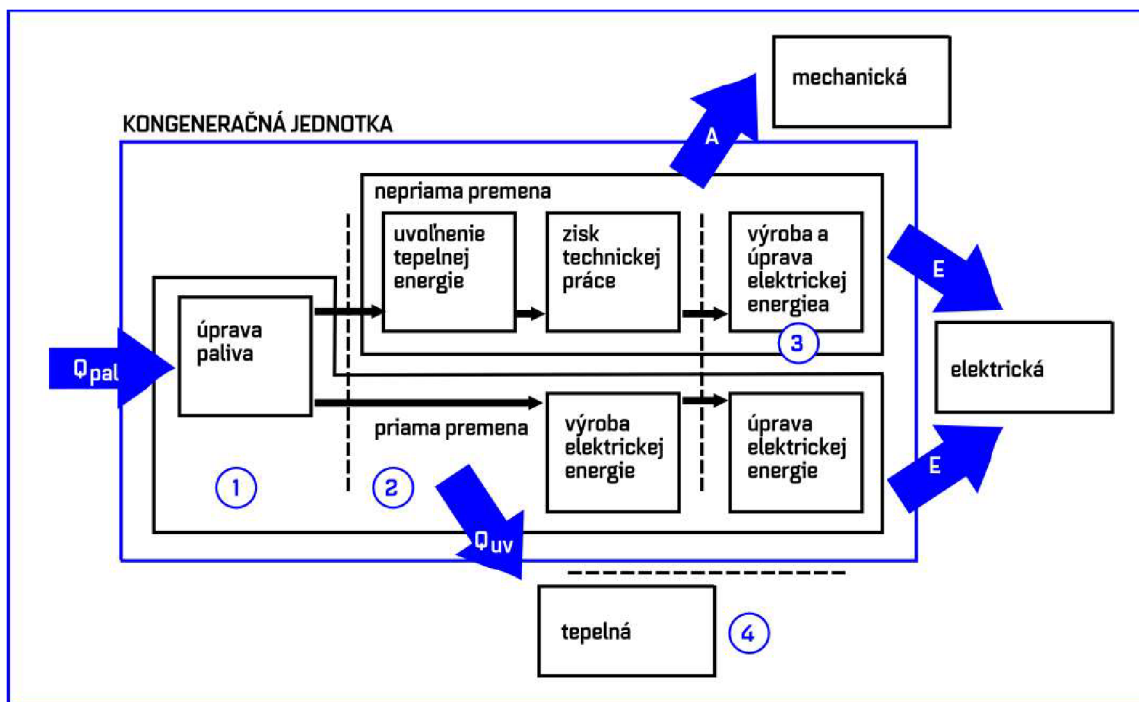
Princíp kogeneračných technológií je transformácia vstupného paliva  $Q_{pal}$  na elektrickú energiu. Tepelnú energiu ktorá vznikla pri transformácii je možné užitočne využiť na dodávky tepla  $Q_{UV}$ , ako je znázornené na obrázku 10. Podľa počtu transformácií v ktorých sa premena energie uskutoční, môžeme deliť kogeneračné technológie na *priame a nepriame*. [10]

#### *Priamy spôsob*

Energia paliva sa premieňa priamo na elektrickú energiu, ktorej parametre je možné upravovať (napätie, prúd). Jedná sa napríklad o technológiu palivových článkoch v ktorých sa využíva elektrochemická reakcia.

#### *Nepriamy spôsob*

Nepriamy spôsob využíva viac-násobnú energetickú premenu. Ako prvá sa uvoľní tepelná energia obsiahnutá v palive, následne z ktorej je získaná technická práca  $A$ , ktorá sa dá využiť pre mechanický pohon spotrebičov.



Obr. 10 Schéma kogeneračnej jednotky s priamou a nepriamou premenou [10]

Kogeneračná jednotka sa skladá z nasledujúcich častí:

#### **Zariadenie na úpravu primárneho zdroja energie-paliva (1)**

Zariadenie dokáže upraviť parametre vstupnej formy energie. Môže sa jednať o zušľachtenie, za účelom lepšieho využitia energie z paliva, alebo z dôvodu homogenizácie paliva. Úprava môže zmeniť skupenstvo paliva, prípadne odstrániť neželané prímеси (voda, oxid uhličitý). [10]

#### **Primárna jednotka, resp. motor (2)**

Dochádza tu k premene energie obsiahnutej v palive, alebo v pracovnej látke, na ušľachtilejšiu formu energie- elektrickú alebo mechanickú. [10]

#### **Zariadenie na výrobu a úpravu elektrickej energie (3)**

Mechanická energia vyrobená v tepelnom motore sa premení v generátore na elektrickú energiu. Asynchrónny generátor sa používa pri menšej záťaži, keďže neobsahuje budiace zariadenie, jeho cena je nízka a je ľahko pripojiteľná k sieti. V prípade vyššej náročnosti kladenej na jednotku, sa používa synchronní generátor. Ak je potrebné upraviť parametre el. prúdu- zmena frekvencie, alebo transformácia jednosmerného prúdu na striedavý, používajú sa meniče a polovodičové prvky. [10]

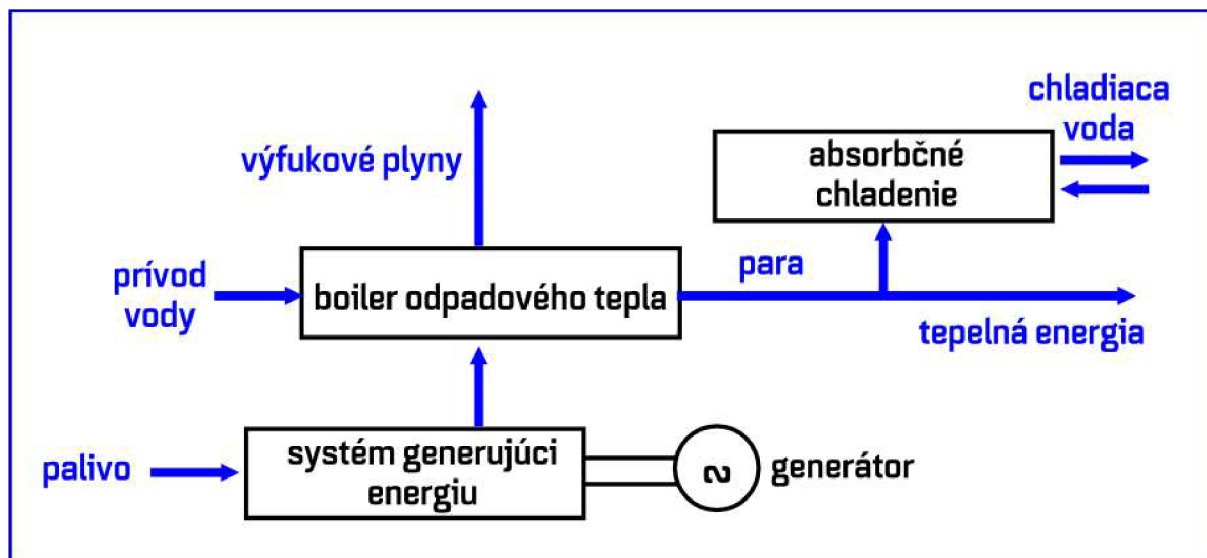
#### **Zariadenie pre opätovné hromadenie a využívanie tepelnej energie (4)**

Zariadenie transformuje odvedený tepelný výkon z kogeneračnej jednotky na požadované parametre a formu. Najbežnejšie výmenníky sú nízkotepelná voda s teplotou do 100°C, vysokotepelná voda s teplotou od 150-200°C, vodná para alebo teplý vzduch. [10]



### 3.5 Trigenerácia

Zatiaľ čo kogenerácia vyrába elektrickú a tepelnú energiu z jedného zdroja, trigenerácia sa môže považovať za rozšírenie tohto systému, kde sa využíva časť odpadového tepla na chladenie. Na obrázku 11 sú zobrazené hlavné komponenty trigeneračného systému. Časť pre výrobu elektrickej energie, spolu s využívaním odpadového tepla, generovaním pary a absorpčný chladič pre výrobu chladenej vody. Časť na výrobu elektrickej energie môže obsahovať parnú turbínu, plynovú turbínu, spaľovací motor alebo mikroturbínu. [15]



Obr. 11 Schéma trigeneračnej jednotky [20]

### 3.6 Určujúce technické parametre pri kogenerácii

Pri výbere kogeneračnej jednotky, je treba zohľadniť nasledujúce technické parametre, ktoré pomôžu identifikovať požiadavky spotrebiteľa

#### 3.6.1 Pomer Teplo-výkon

Jeden z najdôležitejších technických parametrov pri výbere kogeneračnej jednotky je pomer tepelnej energie (požadované teplo) k elektriny ktorá je požadovaná spotrebiteľom. Základné údaje rôznych kogeneračných systémov sú zobrazené v tabuľke 5, (údaje pochádzajú z dvoch rozdielnych knižných zdrojov). [12], [15]

Tab. 5 Energetické výstupy rôznych kogeneračných jednotiek [12], [15]

Kogeneračná jednotka	Pomer teplo-výkon [kWth/kWe]	Elektrická účinnosť v pomere k vstupu [%]	Celková účinnosť [%]
Spätná parná turbína	4 - 14,3	14 – 28	84 – 92
Kondenzačná turbína	2 – 10 3-10	22 – 40	60 – 80
Plynová turbína	1,3 – 2 1,5-3	24 – 35	70 – 85
Kombinovaný cyklus	1 – 1,7	34 – 40	69 – 83
Vratný motor	1,1 – 2,5 1-2	33 - 53	75 - 85

Priemyselné odvetvia, náročné na spotrebu energií môžu využiť kogeneráciu, ak ich dopyt po teple a elektrine je vyvážený. Menší nepomer môže byť upravený vhodnou kogeneračnou jednotkou a turbínou. Spotreba energií počas špičky môže byť vykrytá verejnými dodávkami energie. V nasledujúcej tabuľke je uvedených niekoľko druhov priemyslov a ich očakávaný pomer spotreby tepla a výkonu. [12]

Tab. 6 Očakávaný pomer spotreby tepla a el. energie v rôznych priemyselných odvetviach [12]

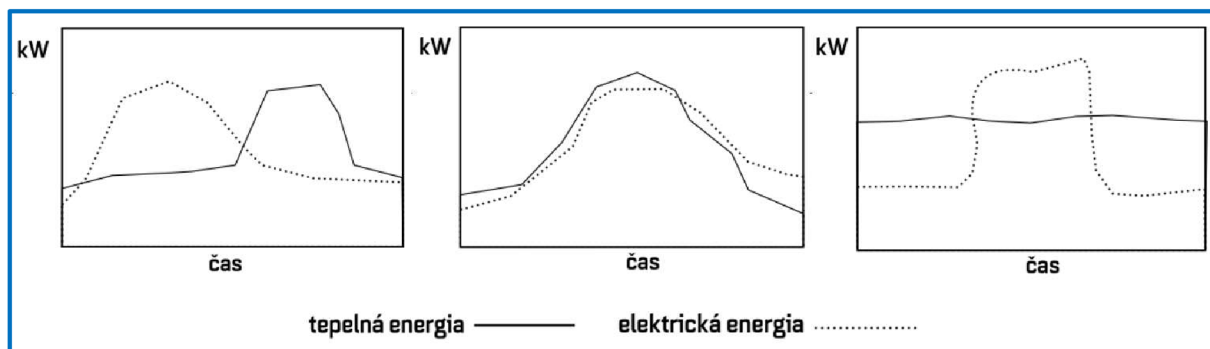
Priemysel	Minimum	Maximum	Priemer
Pivovarský	1,1	4,5	3,1
Farmaceutický	1,5	2,5	2
Umelé hnojivá	0,8	3	2
Potravinárstvo	0,8	2,5	1,2
Papiernictvo	1,5	2,5	1,9

### 3.6.2 Kvalita tepelnej energie

Kvalita tepelnej energie závisí od teploty a tlaku. Taktiež pomáha pri určení potrebného KS. Rôzne priemyselné odvetvia požadujú inú teplotu. Napríklad, cukrovar požaduje tepelnú energiu s teplotou 120°C, k čomu postačí horný kogeneračný systém, avšak cementárne vyžadujú 1450°C a takýto dopyt môže naplniť dolný KS. [12]

### 3.6.3 Závažové vzory

Dopyt po teple a elektrine bude mať rôzny priebeh v odlišných priemyselných odvetviach. Závažové krivky môžu byť počas dňa konštantné, môžu mať energetické špičky jedného alebo oboch druhov energie, ktoré nemusia byť časovo zhodné. Rozdiel v závažových krivkách na obrázku 12 povedie k výberu odlišných kogeneračných jednotiek, ktoré sa budú líšiť druhom turbíny či veľkosťou.



Obr. 12 Závažové krivky [12], [15]

### 3.6.4 Energetické parametre

Berie sa ohľad na účinnosť KJ pri transformácii primárneho zdroja, náklady na výrobu konečných foriem energie a vplyv na životné prostredie. Parametre kogeneračnej jednotky popisujú veličiny ktoré sa môžu meniť s časom, zaťažením alebo s dobou prevádzky. Vhodnosť kogeneračnej jednotky vieme posúdiť na základe výstupov ako sú elektrický a tepelný výkon alebo účinnosť transformácie paliva. [10]

## 4 ÚSCHOVA ENERGIE

Súčasná situácia v energetike je zaťažená otázkami ukladania energie, pochádzajúcej z obnoviteľných zdrojov. Veterná a solárna energia sú generované pri určitom počasí, a nie pri požiadavke spotrebiteľa. Inými slovami- faktory ktoré ovplyvňujú tvorbu energie sa nedajú predpovedať a nenadväzujú na priamu spotrebu zákazníka. Nastáva situácia kedy ponuka neodpovedá dopytu, navyše inštalácia solárnych panelov pre obydliá alebo malé podniky často nevykrýva spotrebu energie. Výsledkom sú početné zdroje energie ktorých vrcholová výroba nemusí odpovedať požiadavkám trhu. [20]

Výroba energie z neobnoviteľných zdrojov v tepelných elektrárňach má pomalšiu odozvu na zmenu dopytu, tomu je usposobená aj elektrická sieť a úschova energie. Súčasný stav prispieva k efektívnosti, spoľahlivosti a optimalizácii prenosu, taktiež zabezpečuje štart zariadení elektrárne po nečakanom výpadku, či núdzovom zastavení. Primárnou úlohou úschovy energie však ostáva flexibilita využívania. V prípadoch kedy do systému prúdi viac energie ako je schopný absorbovať, obnoviteľné zdroje môžu byť odpojené od siete, avšak energia z tepelných alebo jadrových elektrární nemôže byť zredukovaná pod určitú úroveň bez vážnych údržbových alebo operačných problémov. Opätovné spustenie takejto elektrárne môže trvať hodiny, prípadne dni. [25]

Faktory na ktoré sa prihliada pri vytvorení flexibilnej energetickej siete sú, okrem úschovy energie aj

- efektívna odozva siete
  - priestorová a zdrojová rozmanitosť
  - schopnosť preniesť zdroje na trh v určitom čase
  - vývoj inteligentných riadiacich sietí na integráciu vyššie uvedených krokov.
- [21], [22]

Čím väčší podiel v energetike budú zastupovať obnoviteľné zdroje, tým uvidíme na trhu viac príležitostí pre jednotky uchovávajúce energiu. Prípadne sa môže použiť opačný argument, a to že využívanie obnoviteľných zdrojov energie priamo nadväzuje na našu schopnosť túto energiu efektívne ukladať. Prepojenie solárnej a veternej energie, takisto ako energie z uhlia či zemného plynu s úložnými jednotkami v sebe zahŕňajú určité benefity, napríklad:

- zníženie nákladov na modernizáciu sietí, obzvlášť v oblasti prenosu a distribúcie energie
- úspora financií pri rozdielnych cenách energii počas energetickej špičky a mimo tohto časového úseku
- viac príležitostí pre obnoviteľne zdroje energie vďaka pružnejším energetickým systémom
- znížené nároky na priestor v dôsledku menších veľkostí zariadení a sieťových systémov. [20], [21], [22]



## 4.1 BATÉRIE

Možnosti na úschovu objemného množstva energie sú obmedzené. Batérie predstavujú najmenej nápadný a najviac stabilný sekundárny zdroj. V súčasnosti sa pracuje na tom, aby boli použiteľné aj pre veľkokapacitnú úschovu energie. Označenie „batéria“ sa v širšom význame používa na akýkoľvek mechanizmus reálnej úschovy energie. Môže sa jednať o pnutie v kovoch, zdvíhanie závaží či stláčanie plynu, čo sú mechanické spôsoby. V súčasnosti sa však elektrochemická metóda považuje za najviac nádejnú. [22]

Efektívna úschova energie pomôže: [22]

- vytvoriť prenosné dodávky energie z neprenosných zdrojov
- ukladať energiu z aktívneho zdroja a využiť ju neskôr
- vyrovnať a ustáliť dodávky energie zo zdroja ktorý nie je v čase stabilný (solárne panely, veterné turbíny)
- poskytnúť núdzové zásobovanie energiou pri nehodových stavoch a obmedziť výpadky energie
- krátkodobo vykryť energetickú špičku
- stabilizovať cenu energie
- zvýši spoľahlivosť a stabilitu siete

## 4.2 Úschova energie v batériách

Úschove energie pomocou chemických procesov sa začína venovať čoraz väčšia pozornosť. Hlavná limitácia batérií spočíva v ich obmedzenej životnosti, takisto ako v počte cyklov ktoré sa môžu používať. Je nutné prihliadať aj na ich schopnosť dodávať energiu s dostatočujúcou hustotou a výkonom. Pre stacionárne použitia batérii sú dôležité údaje týkajúce sa energetickej účinnosti, ceny a prevádzkového obdobia. Na úschovu energiu vo veľkom objeme sa uvažujú iba batérie ktoré je možné znova nabiť. [22], [23]

V nasledujúcej podkapitole budú porovnané štyri typy batérií, na ktoré sa v súčasnosti kladie dôraz pri vývoji. Bude popísaný základný chemický princíp tých, ktoré ukazujú najväčší potenciál na trhu. Na konci kapitoly budú popísané aj možnosti úschovy energie ktoré nezahŕňajú chemické reakcie.

## 4.3 Kvalitatívne porovnanie základných druhov batérií

Tab. 7 Porovnanie štyroch typov batérií [20]

	Olovo-kyselina	Sodík- síra	Lítium-ionty	Vanádium redox
<b>Anóda</b>	Pb	Na	C	$V^{2+} \leftrightarrow V^{3+}$
<b>Katóda</b>	PbO <sub>2</sub>	S	LiCoO <sub>2</sub>	$V^{4+} \leftrightarrow V^{5+}$
<b>Napätie [V]</b>	2,1	2,1	4.1	1,2
<b>Hustota energie [Wh/kg]</b>	10 až 35	133 až 202	150	20 až 30
<b>Cykly dobíjania</b>	200 až 700	2500 až 4500	1000	12000
<b>Výhody</b>	cena	Cena, počet cyklov, hustota energie, účinnosť	Hustota energie, nízke samostatné vybíjanie	Vysoká účinnosť, nízka cena výmeny
<b>Limitácie</b>	hustota energie, nestálosť vodíku	Teplota,	Starnutie, potreba kvalitného obalu	Zmiešavanie elektrolytov

#### 4.4 Lítium-iónové batérie

Lítium má najvyšší potenciál (3,04V), čím vie poskytnúť vysokú hustotu energie aj reaktivnosť. Jeho reakciu je možné kontrolovať pomocou grafitu, ktorý tvorí negatívnu anódu. Pozitívna katóda obsahuje oxidy lítia, ako napríklad  $\text{LiCoO}_2$  alebo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ . Keď sa ióny lítia pohybujú cez grafit, ich štruktúra sa nerozpadne. Tento proces sa nazýva interkalácia. Lítium dokáže byť interkolované cez oxidy ktoré majú vrstvovú štruktúru. Napätie na článku môže dosiahnuť až 3,7V. Pre zvýšenie elektrickej kapacity sa môže grafit zameniť s kremíkom. [23]

Najnovšia lítium-iónová batéria spoločnosti Tesla bola použitá pre riešenie problémov s výpadkami energie v južnej Austrálii. Jedná sa o doposiaľ najväčšiu inštaláciu pre úschovu energie, ktorá o 60% kapacity prekonala donedávna najväčšiu batériu v Kalifornii. [25], [26]

Projekt dokáže v prípade výpadku siete poskytnúť energiu pre 30 000 domácností počas jednej hodiny, alebo 4000 domácností v regióne počas jedného dňa. Jednotka sa skladá z tisícov batérií, obvyčajne používaných v elektromobiloch spoločnosti Tesla. Poskytujú výkon 100MW/129MWh ktorý je schopný zastúpiť nespoľahlivý systém v intervale 140 milisekúnd od nečakaného výpadku, ako sa ukázalo pri problémoch uhoľnej elektrárne dva týždne od spustenia do prevádzky. [27] [28]

Okrem svojej praktickej funkcie splnil projekt aj finančné očakávania. Stabilizoval cenu energie, nabíjaním jednotky veternou energiou a predávaním energie počas energetickej špičky. Taktiež už generuje vlastníkom jednotky (7/10 Austrálskej vláde a 3/10 súkromnej spoločnosti) zisk od prvého dňa keďže nabíjanie týchto batérií nie je finančná záťaž. [28]

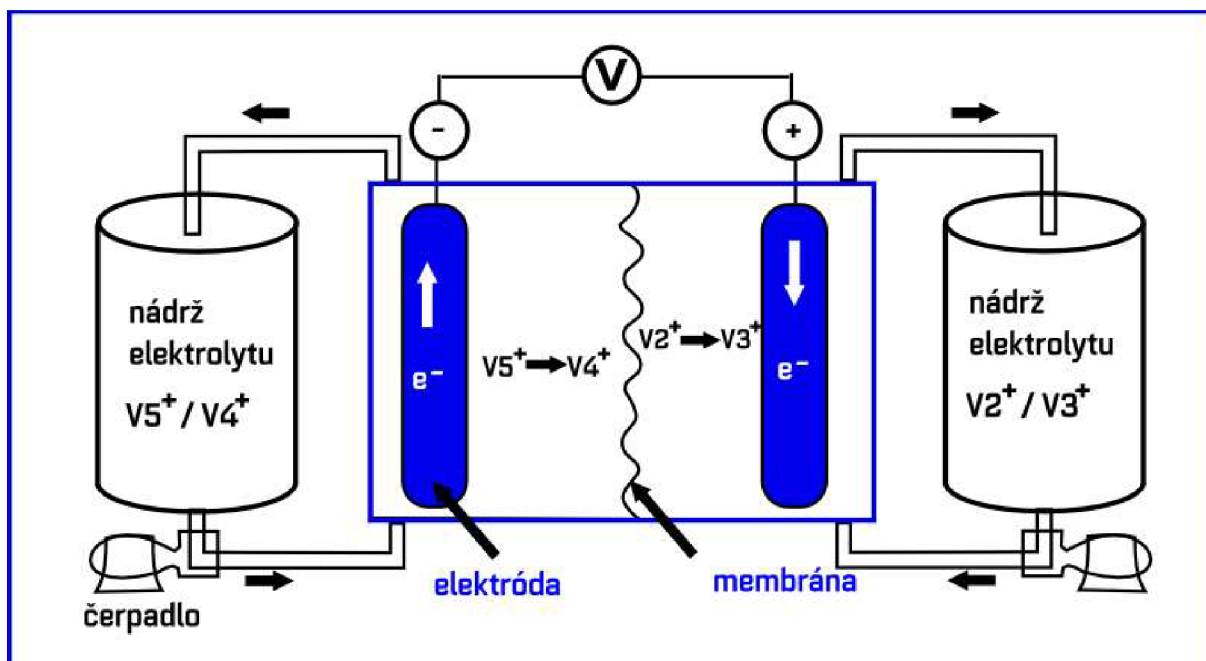
#### 4.5 Redoxové batérie- systém s plným prietokom

V akumulátoroch s plným prietokom cirkuluje elektrolyt z rezervoárov do oddelenia s membránou a naspäť do nádob. Takáto stavba má nasledujúce výhody:

- neobmedzený čas zadržania potenciálnu energie.
- možnosť väčších objemov elektrolytu
- systém môže byť núdzovo pozastavený vypumpovaním elektrolytu
- schopnosť chemického dobytia výmenou elektrolytu
- elektrolyt môže byť dobitý v externom zariadení [22]

Pri výrobe akumulátorov s dlhodobou schopnosťou udržať energiu je potrebné aby činidlá ostali vždy vo forme roztoku. To znamená, že u látok nedôjde k ukladaniu, odstráneniu alebo zreagovaniu chemických prvkov na povrchu elektród a nenastane zmena zloženia alebo štruktúry. Máme však k dispozícii veľmi obmedzený počet prvkoch ktoré spĺňajú tieto vlastnosti. Takmer všetky kombinácie látok majú rovnakú nevýhodu- odlišnosť materiálov. Navyše, činidlá v roztokoch so sebou prinášajú nevyhnutný presun katódových materiálov na anódu a takisto v opačnom smere. [19], [24]

Redoxový systém na chemickom základe vanádu je zatiaľ jediný akumulátor ktorý obsahuje na oboch stranách bunky rovnakú látku. Výhoda vanádu je jeho široká škála oxidačných čísel  $V^{5+}$ ,  $V^{4+}$ ,  $V^{3+}$  a  $V^{2+}$  a jeho schopnosť rozpustnosti vo vode. Ako vidíme na obrázku 13, nádoby obsahujú látky  $V^{5+}$  a  $V^{2+}$ , ktoré spolu budú reagovať v prehradenej bunke s elektródami. Na jednej strane bunky sa  $V^{5+}$  premení na  $V^{4+}$ , čo vyžaduje elektrón. Tento elektrón je možné získať z druhej strany bunky kde prebehne reakcia  $V^{2+} \rightarrow V^{3+}$ . V prípade ak prechodová membrána nie je dokonalá a časť látky prejde na opačnú stranu, bude to mať vplyv na celkový náboj, batéria sa čiastočne vybijie, ale látka nebude kontaminovaná  $V^{3+}$ . V prípade ak prechodová membrána nie je dokonalá a časť látky prejde na opačnú stranu, bude to mať vplyv na celkový náboj, batéria sa čiastočne vybijie, ale látka nebude kontaminovaná. [24]



Obr. 13 Schéma redoxovej batérie [19]

Reakcie na oboch stranách vytvoria tok elektrónov. Veľkosť bunky v ktorej prebieha premena má vplyv na výkon a veľkosť nádob v ktorých sú uložené roztoky  $V^{5+}$  a  $V^{2+}$  dodávajú energiu do systému. Ak chceme modifikovať výkon či energiu, dosiahneme to úpravou kapacity nádob.

Ideálne by mal mať takýto systém neobmedzenú životnosť, avšak určité limity predstavuje údržba elektrolytu, reálne nedokonalé uzavretie systému či hustota energie závislá na rozpustnosti látok vo vode pri rôznych teplotách. [23]

#### 4.6 Možnosti úschovy energie

Existuje ešte mnoho spôsobov ako uchovávať energiu, napríklad pomocou stlačenia plynov, super-vodivých magnetov, alebo úschovou termálnej energie. Tieto riešenia však neposkytujú významné výhody oproti zmieneným systémom. Pri pokračujúcom trende obnoviteľných zdrojov, ktorých výroba energie je nestabilná a podmienená počasím, budú nové inovácie v oblasti úschovy energie kriticky potrebné.

Elektrochemické články ponúkajú jednoduchú formu úschovy energie, avšak, každý druh batérií má svoje limitácie a problémy, ako napríklad relatívne krátku životnosť, limitovaná hustota energie či výkonu.

V súčasnosti vidíme najväčší potenciál v lítiových a vanádiových (redoxových) batériách pre ich vyrovnávacie a pohonné aplikácie. Obzvlášť stacionárne redoxové batérie sú schopné uchovávať také množstvo energie, ako to vyžaduje veľkovýroba. Jednoduchú možnosť kontroly, potenciálne dlhú životnosť. Nesmú byť opomenuté ani prečerpávajúce elektrárne, ako veľmi spoľahlivý zdroj úschovy energie s rýchlou odozvou.

Budúcnosť, ktorá by sa neniesla v znamení obnoviteľných zdrojov energie, môže priniesť pokroky v skvapalňovaní uhlia alebo umelom vytváraní fosílnych palív. Tieto alternatívy by pokračovali v trende spaľovania a následne menšou potrebou pre úschovu energie. [22]

## 5 INTEGROVANIE DECENTRALIZOVANEJ VÝROBY ENERGIE DO SIETE

### 5.1 Vplyv decentralizovaných zdrojov v sieti

Napojenie množstva decentralizovaných zdrojov energie na sieť so sebou prináša určité riziká spojené s kvalitou, ako napríklad vysoké napätie, veľké a časté zmeny napätia a frekvencie. Decentralizácia môže pomáhať pri havarijných stavoch vykrytím nedostatkov energie, čo zvyšuje spoľahlivosť siete. Niektorí však môžu argumentovať, že takéto zvýšenie komplexnosti elektrickej siete, zákonite vedie k spomínaným havarijným stavom.

Pri rozšírení elektrickej siete o rôzne zdroje, sa presúvanie týchto zdrojov v správny čas a účtovanie za tok energie stáva zložitým problémom vyžadujúci spoľahlivé monitorovacie zariadenia. Rozvodná sieť s tisíckami malých generátorov vyžaduje oveľa sofistikovanejšiu komunikáciu a kontrolu než centralizovaná sieť zameraná na niekoľko veľkých zariadení. [19], [29]

Vysoké napätie v sieti môže viesť k situácii kedy sa otočí systém prúdenia energie a tým sa zvýši napätie na strane užívateľa za povolenú hranicu. Zvýšenie napätia je problém iba v slabých sieťach v kombinácii so silným generátorom, preto musia byť ich veľkosti regulované. Ak do siete vstupujú jednotky založené na konvertovaní výkonu, musíme počítať s harmonickými odchýlkami. Tie môžu byť vyfiltrované pasívnymi filtermi ktoré obsahujú sériové indukčity a paralelné kapacitivy.

Celkovo môžeme ovládanie a kontrolu decentralizovanej siete rozdeliť na časť, keď sa upravujú parametre energie skôr ako ovplyvnia sieť, teda jedná sa o reguláciu obnoviteľných zdrojov energie a kogeneračných jednotiek. Vyšší stupeň regulácie zahŕňa celú sieť a simulácie všetkých jednotiek ktoré sieť ovplyvňujú. [19]

### 5.2 Regulácia zdrojov energie

Jednotky pre výrobu energie z obnoviteľných zdrojov transformujú elektrickú sieť z tradičnej, centralizovanej, na decentralizovanú. Tento krok so sebou prináša určité riziká v oblasti stability a bezpečnosti siete, ktoré je nutné minimalizovať. Jednotky majú zväčša od 10 kW do 20MW a sú situované v blízkosti spotreby energie. Jedná sa napríklad o veterné turbíny, kogeneračné jednotky či solárne panely.

Veterné turbíny s výkonom nad 1MW sú navrhnuté so systémom, ktorý zabezpečuje variabilitu rýchlostí a kontrolu výkonu. Fotovoltaické panely generujú taký prúd, aký je proporčný danému slnečnému žiareniu. Tento prúd najskôr prechádza cez DC/DC transformátor, ktorý upraví napätie, a následne cez AC/DC konvertor pre požadovaný striedavý prúd. Primárne využitie kogeneračných jednotiek je zväčša pre výrobu tepla. Ak jednotka odpovedá na termálne požiadavky a elektrická energia je vedľajší produkt, možnosti jej kontroly sú limitované. Mikroturbína dosiahne až 100 000 ot/min, a keďže je na rovnakom hriadeli ako kompresor a rotor generátoru, vie dosiahnuť vysoké frekvencie striedavého prúdu ktoré musia byť konvertované najskôr na jednosmerný prúd, potom na striedavý prúd s frekvenciou siete. Tieto distribuované zdroje energie vedia rôzne efektívne regulovať vlastný výkon či odpovedať na dopyt siete, môžu byť prepojené s batériami ktoré do systému prinášajú väčšiu stabilitu. [19]

## 5.3 Regulácia siete

Riadenie decentralizovaných zdrojov predstavuje radu výziev, ktoré je nutné riešiť predtým ako plne využijeme ekonomický a environmentálny potenciál obnoviteľných zdrojov či kogeneračných jednotiek. Problémy predstavujú obmedzenia prenosu v komunikačnej sieti a spracovaním informácií v reálnom čase, oneskorením alebo stratou údajov. Primárna potreba trhu s energiou je spoľahlivé a vysoko kvalitné napájanie. To znamená, že aj krátke narušenia komunikácie (napr. kvôli preťaženiu miestnej siete alebo výpadku servera) na miestach, ako sú nemocnice, policajné stanice alebo dátové centrá, môže byť zničujúce, v lepšom prípade nákladné. Takéto riziká sú silným podnetom pre vývoj spoľahlivých kontrolných a komunikačných stratégií, ktoré zabezpečujú bezpečnosť siete. [19], [29]

V poslednej dobe sa realizujú určité kroky pre bezpečnosť rozvodných sietí, ako sú:

- použitie modelových algoritmov a riadenia spätnej väzby na reguláciu
- vývoj riadiacich a koordinačných celkov, ktoré využívajú prístupy k viacerým dátovým zdrojom
- techniky prediktívneho riadenia

### 5.3.1 Konvenčné metódy

V tejto kapitole uvedieme niekoľko optimalizačných metód ktoré pojednávajú o rozmiestnení a veľkosti decentralizovaných zdrojov. Popri tradičných metódach na základe lineárneho programovania sa v posledných rokoch dostávajú do popredia riešenia so základom v analytickej matematike a optimalizácií. [30]

#### Analytický prístup

Presnosť metódy je závislá od modelu, ktorý je výsledkom výpočtov a matematickej analýzy. Analytický prístup úzko súvisí s rovnicami v ktorých je problém vyjadrený. Predpoklady, podľa ktorých vznikol matematický model, môžu ohroziť presnosť výsledku ak sa model stane komplexný

#### Lineárne programovanie

Metóda využíva matematický model kde sú požiadavky reprezentované lineárnymi závislosťami. Lineárne programovanie je široko používané pri optimalizácii energetického systému, pretože poskytuje presné riešenie, čo je nájdenie optimálnej veľkosti jednotiek decentralizovanej energie.

#### Optimalizácia toku energie

Cieľom metódy je definovať optimálne ekonomické a prevádzkové náklady na okamžité ovládanie energetického systému pri zohľadnení vplyvu prenosových a distribučných systémov. Metóda je široko využívaná na riešenie problému regulácie a dimenzovania.

#### Fuzzy logic

Metóda predstavuje zovšeobecnenie klasickej koncepcie riešenia problémov týkajúcich sa energetického systému. Spočíva v identifikácii každej premennej a jej



priradení na základe podobnosti do podskupiny. Takéto logické postupy sa používajú pri minimalizácii reálnych strát energie a zvýšení napäťového profilu.

### 5.3.2 Metódy inteligentného vyhľadávania

Systémy pracujú na základe umelej inteligencie a heuristických princípov. Tie sa považujú za inteligentné metódy vyhľadávania, pozostávajúce z algoritmov, ktoré urýchľujú proces hľadania uspokojivého alebo takmer optimálneho riešenia. Hlavnou výhodou heuristického prístupu v porovnaní s analytickým prístupom je jeho jednoduchosť, ktorá však zhorší presnosť výsledkov. V nasledujúcej tabuľke č. 8 sú uvedené rôzne heuristické princípy výpočtov a ich výhody a nevýhody. [30]

Tab. 8 Porovnanie výhod a nevýhod rôznych výpočtových metód [30]

Metóda	Výhody	Nevýhody
<b>Generický algoritmus</b>  <b>Genetic Algorithm (GA)</b>	+ bezpečne nájde optimum systému pri množstve funkcií + nevyžaduje deriváty + môže byť použitá aj pre slabo definované problémy + nepresné riešenie neovplyvní výsledný systém negatívne	- časová náročnosť - nemusí vybrať najlepšie možné riešenie - nepresnosti
<b>Simulované žihanie</b>  <b>Simulated Annealing (SA)</b>	+ jednoduchá implementácia + presné výsledky aj pre komplexné problémy + má mnoho funkcií	- nevie stanoviť hranicu pre výpočtový čas - nevie stanoviť interval odchýlky od ideálneho výsledku (globálneho minima) - časová náročnosť
<b>Vyhľadávanie tabu</b>  <b>Tabu Search (TS)</b>	+ použitie pre komplexné problémy + záznamy pracujú na princípe dlhodobej pamäte + použitie pre diskkrétne aj spojité premenné	- môže zlyhať v mieste lokálneho minima - potreba definovania množstva parametrov - operácie majú množstvo opakovaní
<b>Optimalizácia časticových skupín</b>  <b>Particle Swarm Optimization (PSO)</b>	+ jednoduché na implementáciu + má minimum parametrov na vstupe vyžadujúce úpravu + dokáže viesť paralelné výpočty + má mnoho funkcií + rýchlo konverguje + krátky čas výpočtov + efektívny pri riešení problémov hľadania vhodných matematických modelov	- je náročné definovať vstupné parametre - nie je možné riešiť problémy s rozsiahlym rozptylom vstupov - môže sa zacykliť alebo konvergovať donekonečna, zvlášť pri komplexných problémoch
<b>Optimalizácia antológie</b>  <b>Ant Colony Optimization (ACO)</b>	+ dokáže vyhľadávať údaje v paralelných dátach + dokáže poskytnúť dobrý výsledok v krátkom čase + vie sa adaptovať pri zmenách + zaručene konverguje	- zložitá teoretická analýza - obsahuje sekvencie náhodných rozhodnutí - metóda je viac experimentálna, ako teoretická - nemá dopredu stanovený čas konvergovania
<b>Hľadanie harmónie</b>  <b>Harmony Search (HS)</b>	+ nevyžaduje vstupné hodnoty + využíva diskkrétne aj spojité hodnoty	- množstvo iterácií - môže ponúknuť neproduktívne iterácie bez vylepšenia riešenia

## ZÁVER

Pri realizácii konceptu „smart city“ je potrebné implementovať do infraštruktúry merače a senzory ktoré monitorujú najrôznejšie odvetvia života v meste. Následne je možné na základe spracovaných dát vytvárať 3D modely uzlov hromadnej dopravy, pohybu chodcov, rozvodov vody, cirkulácie vzduchu alebo postupu slnečného žiarenia. Tieto akcie majú za následok zníženie hluku, smogu a menšiu potrebu využívať klimatizáciu či vlastné dopravné prostriedky. Celkovo sa myšlienky „smart city“ môžu využívať pre zlepšenie kvality života občanov mesta.

Pokrok v oblasti inteligentných miest sa dá považovať za pomerne pomalý. Môžu za to spoločenské, bezpečnostné aj technické faktory. Finančná náročnosť alebo nedôvera ľudí podieľať sa na odovzdávaní dát, v respektíve osobných informácií sú jednými z dôvodov. Najväčší problém spočíva v malom počte miest ktoré prekonal pomyselnú bariéru „smart city“ aby mohli nastaviť príklad pre iné komunity. Zatiaľ nebolo zriadené plne integrované inteligentné mesto, ktoré by preukázalo výhody takéhoto systému, avšak mestá ako Singapur, Dubaj alebo Barcelona sa snažia ukazovať správnu cestu.

Práca sa najmä venovala energetickej situácii v mestách a jej prepojeniu s myšlienkami „green“ alebo „smart city“. V poslednej dobe sa zvyšuje záujem o decentralizáciu energetickej siete. Tento krok ponúka mnohé výhody. Medzi tie ekonomické patrí odstránenie rozľahlých rozvodných sietí od elektrární, či teplární. Finančná výhoda by sa objavila ako v znížení strát energie spôsobenej presunom, tak aj na úspore materiálov a pri konštrukčných prácach.

Česká republika sa zaviazala, že do roku 2020 bude vyrábať 13% energie z obnoviteľných zdrojov, v blízkej budúcnosti však bude pretrvávať naša závislosť na fosílnych palivách. Decentralizácia siete môže napomôcť k plneniu tohto záväzku a zároveň môže prispieť k efektívnemu spaľovaniu neobnoviteľných zdrojov energie, použitím kogeneračných jednotiek.

Kombinovaná výroba energií premení primárny zdroj energie efektívnejšie, ako oddelená výroba elektrickej a tepelnej energie. Dve jednotky paliva sa premenia na tepelnú a elektrickú energiu s priemernou účinnosťou 60% pri oddelenej výrobe. Jedna palivová jednotka sa v kombinovanej výrobe premení na elektrickú energiu s účinnosťou 30% a na tepelnú energiu s účinnosťou 50%, poskytne účinnosť 80%.

Pri generovaní energie z rôznych zdrojov- kogeneráciou alebo z obnoviteľných zdrojov, je kľúčová naša schopnosť energiu ukladať. Najväčší potenciál z pohľadu výkonu, či finančnej návratnosti vykazujú redoxové a zvlášť lítiové batérie. Najnovší projekt inštalácie 100MW batérie v Austrálii splnil očakávania v prvých dňoch prevádzky. Stabilizoval cenu, slúži ako spoľahlivý zdroj aj počas energetickej špičky a prípadný nečakaný výpadok iných zdrojov dokáže nahradiť do 140 milisekúnd.

Stabilita, ktorú do systému prinášajú batérie, je podmienená našou schopnosťou regulovať sieť. Množstvo decentralizovaných zdrojov energie prináša určité riziká, ako napríklad vysoké napätie, veľké a časté zmeny frekvencie a napätia. Decentralizácia



môže pomáhať pri havarijných situáciách v sieti, čo zvyšuje spoľahlivosť, avšak takéto zvýšenie diverzity môže sieť zároveň oslabiť a tvoriť príležitosti pre spomínané havarijné stavy. Regulácia je možná priamo v jednotkách ktoré generujú energiu. Vyšší stupeň regulácie zahŕňa celú sieť a modelovanie správania všetkých jednotiek ktoré sieť ovplyvňujú. Problematika spočíva v obmedzeniach prenosu v komunikačnej sieti a spracovaní informácií v reálnom čase, oneskorení alebo stratou údajov.

Postupy, ktoré využívajú lineárne programovanie dokážu vo výsledku určiť optimálnu veľkosť decentralizovaných zdrojov. V súčasnosti sa dostávajú do popredia aj riešenia so základom v analytickej matematike a optimalizácií. Presnosť týchto komplexných modelov je závislá od vstupujúcich rovníc, pričom malý počet vstupných parametrov môže ohroziť spoľahlivosť výsledku.

Alternatívny prístup k riadeniu decentralizovaných sietí ponúkajú systémy so základom v umelej inteligencii. Tie pozostávajú z algoritmov, ktoré urýchľujú proces hľadania uspokojivého, prípadne skoro optimálneho riešenia. Takéto systémy vedia rýchlo reagovať na zmeny v sieti a okamžite odpovedať na situáciu, avšak ich jednoduchosť, zhorší presnosť výsledkov.

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] VESCO, Andrea a Francesco FERRERO. Handbook of research on social, economic, and environmental sustainability in the development of smart cities. Hershey, PA: Information Science Reference, An Imprint of IGI Global, 2015. ISBN 9781466682832.
- [2] HAMMER, Stephen, Lamia KAMAL-CHAOU, Alexis ROBERT a Marissa PLOUIN. Cities and Green Growth: A Conceptual Framework. OECD Regional Development Working Papers [online]. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), 2011, 2011(8), 1-4,8-141 [cit. 2018-04-21].
- [3] SONG, Houbing, Ravi SRINIVASAN, Tamim SOOKOOR a Sabina JESCHKE, ed. Smart cities: foundations, principles, and applications. Hoboken, NJ: Wiley, 2017. ISBN 978-1-119-22639-0.
- [4] JAKHANWAL, Vinita. Singapore sets its sights on becoming the world's first smart nation. IHS Markit technology. IHS Markit [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://ihsmarkit.com/research-analysis/q23-singapore-sets-its-sights-on-becoming-the-worlds-first-smart-nation.html>
- [5] Housing & development board [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.hdb.gov.sg/cs/infoweb/about-us>
- [6] KOON HEAN, Cheong. How we design and build a smart city and nation. Youtube: How we design and build a smart city and nation[online]. 2015 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=m45SshJqOP4&>
- [7] Smart cities: Background paper. In: Department for Business Innovation & Skills [online]. 2013 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/246019/bis-13-1209-smart-cities-background-paper-digital.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/246019/bis-13-1209-smart-cities-background-paper-digital.pdf)
- [8] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World energy outlook 2007: China and India insights. Paris: OECD/IEA, 2007. ISBN 9789264027305.
- [9] ŠKORPIL, Jan, Jiřina MERTLOVÁ a Bedřich WILLMANN. Obnovitelné zdroje a jejich začleňování do energetických systémů: publikace ke grantovému projektu GAČR 102/06/0132. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008. ISBN 978-80-7043-733-9.
- [10] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [11] METZ, Bert. Climate change 2007: mitigation of climate change : contribution of Working Group III to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-88011-4.

- [12] BHATIA, S.C. Advanced Renewable Energy Systems. New Delhi: WPI, 2014. ISBN 9789380308739
- [13] Combined Heat and Power: Evaluating the benefits of greater global investment. In: Local Power Org [online]. 2008 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: [http://www.localpower.org/documents/reporto\\_iea\\_chpwademodel.pdf](http://www.localpower.org/documents/reporto_iea_chpwademodel.pdf)
- [14] Combined heat and power: Cogeneration from ENER-G. Youtube: Combined heat and power [online]. 1.6.2011 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=laS\\_amlXo34](https://www.youtube.com/watch?v=laS_amlXo34)
- [15] JAYAMAHA, Lal. Energy-efficient industrial systems: evaluation and implementation. New York: McGraw-Hill Education, 2016. ISBN 978-1-25-958978-2.
- [16] PEHNT, Martin, Martin CAMES, Corinna FISCHER, Barbara PRAETORIUS, Lambert SCHNEIDER, Katja SCHUMACHER a Jan-Peter VOB. Micro cogeneration: Towards decentralized energy systems. Berlin: Springer, 2010, xv, 346 s.graf. ISBN 978-3-642-06498-2
- [17] The essential guide to small scale combined heat and power. In: Centrica Business Solutions [online]. February 2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: [https://www.centricabusinesssolutions.com/sites/g/files/qehiga126/files/GDE%2001%20ENERG%20Essential%20Guide%20to%20CHP\\_01\\_v5%20%281%29.pdf](https://www.centricabusinesssolutions.com/sites/g/files/qehiga126/files/GDE%2001%20ENERG%20Essential%20Guide%20to%20CHP_01_v5%20%281%29.pdf)
- [18] ŠÍPAL, Jaroslav. Energetika: studijní text pro prezenční a kombinované studium. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2014. ISBN 978-80-7414-737-1.
- [19] MELHEM, Ziad. Electricity Transmission, Distribution and Storage Systems. Elsevier Science, 2013, no. 38. DOI: 10.1533/9780857097378. ISBN 1845697847.
- [20] EPRI-DOE Handbook of Energy Storage for Transmission & Distribution Applications. In: Sandia National Laboratories [online]. December 2003 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.sandia.gov/ess/publications/ESHB%201001834%20reduced%20size.pdf>
- [21] ROSEN, Marc A. Energy storage. Nova Science Publishers, 2012. ISBN 9781613247082.
- [22] ZITO, Ralph. Energy storage: a new approach. Salem: Scrivener, c2010. ISBN 978-0-470-62591-0
- [23] ANDREWS, John a N. A. JELLEY. Energy science: principles, technologies, and impacts. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, c2013. ISBN isbn978-0-19-959237-1.
- [24] Redox Flow Batteries. In: Energy Storage Association [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/redox-flow-batteries>

- [25] California's big battery experiment: a turning point for energy storage?. In: The Guardian [online]. 15.09.2017 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/sep/15/californias-big-battery-experiment-a-turningpoint-for-energy-storage>
- [26] All The Details On Tesla's Giant Australian Battery. In: Gizmodo [online]. 09.07.2017 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.gizmodo.com.au/2017/07/all-the-details-on-teslas-giant-australian-battery/>
- [27] Speed of Tesla big battery leaves rule-makers struggling to catch up. In: Renew Economy [online]. 21.12.2017 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://reneweconomy.com.au/speed-of-tesla-big-battery-leaves-rule-makers-struggling-to-catch-up-36135/>
- [28] Elon Musk's Huge Battery in South Australia Made \$1 Million in Profit in Just a Few Days: Fast, clean, reliable. In: Science Alert [online]. 25.01.2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.sciencealert.com/south-australia-tesla-battery-earns-million-neoen-company?perpetual=yes&limitstart=1>
- [29] BINDESHWAR, Singh a Sharma JANMEJAY. A review on distributed generation planning. Renewable and Sustainable Energy Reviews[online]. September 2017, 2017(76), 529-544 [cit. 2018-04-25]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117303568#t0020>
- [30] Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources. Renewable Energy: An International Journal [online]. December 2017, 2017(113), 266-280 [cit. 2018-04-25]. ISSN 0960-1481. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117304822#fig4>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

<b>Symbol</b>	<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>
Q	Teplo	GJ [J]
P	Výkon	MW [W]
$\eta$	Účinnosť	%
$Q_{pal}$	Energia v palive	J
$Q_{UV}$	Energia dodávajúca teplo	J
A	Technická práca	J
E	Elektrická energia	J
P	Výkon elektrický	kWe
P	Výkon tepelný	kWth
U	Napätie	V
$\omega_{el}$	Hustota energie	Wh/kg
T	Teplota	°C
$\omega$	Uhlová rýchlosť	Ot/min

<b>Skratka</b>	<b>Význam</b>
CP	Cyber-physical (kyberneticko-fyzické)
AC/DC	Menič striedavého/jednosmerného prúdu
DC/DC	Jednosmerný menič
KS	Kogeneračné systémy
ICT	Informačno-komunikačné technológie