

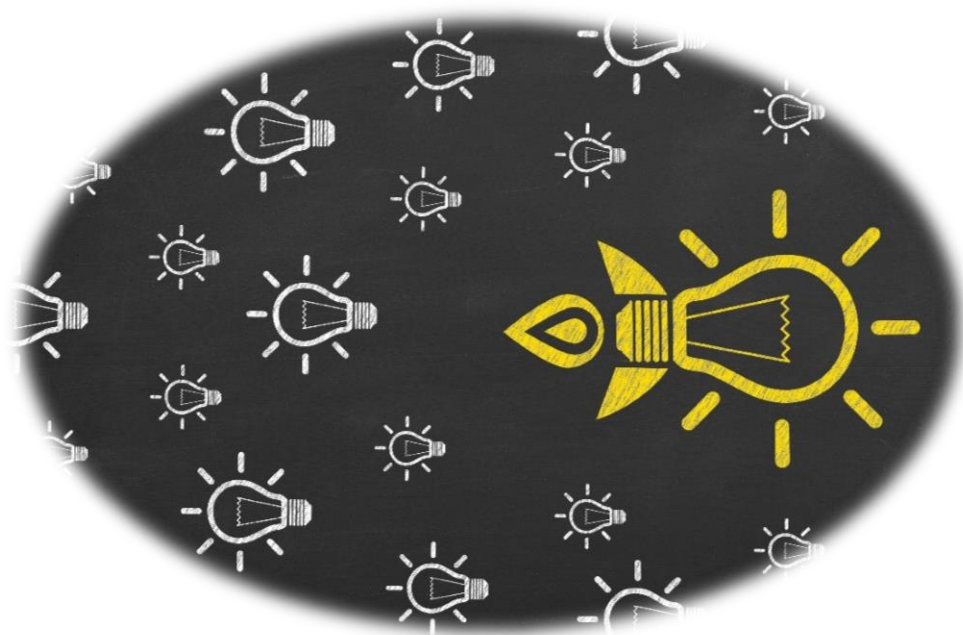


INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Bezpečnosť v energetike



Vytvořeno v rámci projektu „Inovace vzdělávacích programů v oblasti energetiky“ č. 304011U698, který je realizován v rámci Operačního programu INTERREG V-A Slovenská republika – Česká republika, který je spolufinancován z Evropského fondu pro regionální rozvoj.



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Bezpečnost v energetice

doc. Ing. Jiří Míka, CSc.

Ing. Silvie Petránková Ševčíková, Ph.D.

Lukáš Míček

Vytvořeno v rámci projektu „Inovace vzdělávacích programů v oblasti energetiky“ č. 304011U698, který je realizován v rámci Operačního programu INTERREG V-A Slovenská republika – Česká republika, který je spolufinancován z Evropského fondu pro regionální rozvoj.

Ostrava, 2021

Autoři: doc. Ing. Jiří Míka, CSc.

Ing. Silvie Petránková Ševčíková, Ph.D.

Lukáš Míček

Ostrava 2021

ISBN 978-80-248-4553-1

Obsah

Úvod	5
1. Bezpečnost a resilience dodávek energií	6
1.1. Bezpečnost dodávek energií z pohledu EU	6
1.2. Bezpečnost dodávek energií v ČR.....	7
1.3. Energetická bezpečnost.....	15
1.4. Narušení dodávek elektřiny a energie.....	18
1.4.1. Blackout	19
1.4.2. Příčiny a dělení blackoutu	20
1.4.3. Následky blackoutu	21
1.4.4. Možný scénář důsledků blackoutu	21
1.4.5. Blackout 2014	22
1.5. Kritická infrastruktura.....	23
1.5.1. Definice kritické infrastruktury.....	24
1.5.2. Energetika jako součást kritické infrastruktury	24
1.5.3. Ochrana kritické infrastruktury	25
1.6. Management ochrany prvků kritické infrastruktury	26
1.7. Postup posilování resilience	27
1.8. Strategie ČR pro hrozbu přerušení dodávek strategických surovin nebo energie	28
1.9. Způsoby zajištění energetické a surovinové bezpečnosti v ČR	28
1.10. Budoucí potenciál.....	30
2. Nový koncept decentralizace na bázi využití obnovitelných zdrojů.....	31
2.1. Důvody pro postupný přechod k decentralizovanému modelu.....	31
2.2. Technologie vhodné pro decentralizovanou výrobu energie	32
2.2.1 Suchá biomasa	33
2.2.2 CZT a spalování biomasy.....	34
2.2.3 Lokální spalování biomasy.....	35
2.2.4 Bioplynové technologie	35
2.2.5 Solární termické systémy	35
2.2.6 Solární chlazení.....	36
2.2.7 Fotovoltaika	36
2.2.8 Energie větru	37
2.2.9 Energie vody	37
2.3. Vize budoucnosti decentralizované energetiky	38
2.3.1. Virtuální elektrárny.....	38

2.3.2.	Backcasting – metoda plánování.....	40
2.3.3.	Smart Grids.....	40
2.4.	Kyberbezpečnost a ochrana dat.....	41
3.	Využití bateriových uložišť.....	42
3.1.	Požární rizika bateriových systémů.....	44
4.	Vodíková energetika.....	47
4.1.	Výroba a využití vodíku.....	47
4.2.	Skladování vodíku.....	48
4.3.	Palivové články.....	51
4.4.	Bezpečnost vodíku.....	52
4.5.	Budoucnost vodíkových technologií.....	53
	Seznam značek a zkratk.....	54
	Seznam grafů.....	55
	Seznam obrázků.....	55
	Seznam tabulek.....	55
	Zdroje informací.....	56

Úvod

Problematika energetické bezpečnosti je v současné době často diskutovaným tématem. Zajištění zásobování energií je důležité pro každou ekonomiku státu. Rostoucí poptávka po energiích je způsobena populačním a hospodářským růstem, kde se ohrožení dodávek v důsledku nově vznikajících problémů zvyšuje. Koncept energetické bezpečnosti se často zaměřuje na dodávky ropy a zemního plynu. Nicméně ani další energetické suroviny nesmí být opomíjeny. První zmínky o energetické bezpečnosti byly zaznamenány s ropnými šoky v 70. letech minulého století. Větší povědomí začala energetická bezpečnost zaujímat až v 90. letech, kdy rostla poptávka po energiích a s vyšší spotřebou začaly růst také ceny. Důležitost zajištění energetické bezpečnosti zvýraznila svou důležitost po plynové krizi, která proběhla v roce 2009. Pro každou zemi je tak důležité mít dostatek zdrojů energie, které jsou nezbytné pro život jejího obyvatelstva. Není tedy divu, že vzniká stále větší tlak na zajištění dostatečného množství energií, které je důležité pro dobrý chod hospodářství států [1].

1. Bezpečnost a resilience dodávek energií

Zajištění bezpečných dodávek energií je nezbytné pro pokrytí potřeb domácností a řádné fungování podniků a sociálních služeb. Pod pojmem **Bezpečnost dodávek energie** rozumíme: nepřerušenu dostupnost zdrojů energie za přijatelnou cenu, jak ji vymezuje Mezinárodní energetická agentura.

Vedle samotné bezpečnosti dodávek energií je nezbytné zabývat se resilienci dodávek energií. **Resilience** je též pružná odolnost. Je to schopnost prvku absorbovat, adaptovat se a rychle obnovit činnost prvku z důsledků působení nežádoucí události. (National Infrastructure Advisory Council, 2009)

Současná společnost je závislá na fungování infrastruktury, zvláště kritické infrastruktury (KI), zejména jedná-li se o dodávky elektrické energie, tepla, vody, potravin a v poslední době i fungování informačních a telekomunikačních technologií a dalších [1].

Za **kritickou infrastrukturu** se považují materiální zdroje, služby, zařízení a sítě, které mají v případě narušení nebo zničení závažný dopad na zdraví, bezpečnost, hospodářský nebo sociální blahobyt [20]. Jedná se např. o elektrárny, plynárny, teplárny, rafinerie, vodovody, ČOV, úpravný vody, přehrady, výroby potravin, nemocnice, výroba a skladování léčiv, dopravní infrastruktura, ICT, bankovníctví, veřejné finance,..

Úhly pohledu na kritickou infrastrukturu (KI), jako na systémy systémů, mohou být po stránce praktického hodnocení různé. V mnoha studiích se například uvádí, že kritická infrastruktura je vzájemné poskytování systému služeb ve všech oblastech infrastruktury společnosti tak, aby tyto služby podporovaly existenci dosažené životní úrovně a široké zájmy na principu soběstačnosti obyvatelstva. Do tohoto konceptu je ještě nutno přidat dovětek „s dostatečnou rezervou“.

Pokud však budeme chtít popsat jednotlivá odvětví kritické infrastruktury jako funkční systémy, je lépe tyto pojímat jako soubory vzájemně se podporujících technologií. Přičemž tyto technologie od sebe oddělit pomyslnou kompetenční hranicí. Pojem kompetence přitom určuje obvyklou gesční politiku rezortní správy pro každý stát odlišnou [19].

Posilování resilience se chápe zlepšování schopnosti prvku kritické infrastruktury zabránit nebo snížit účinek působení nežádoucí události. Posílením resilience se zajišťuje ochrana kritické infrastruktury (Bowman, 2016).

1.1. Bezpečnost dodávek energií z pohledu EU

Bezpečnost dodávek zaručují v první řadě vnitrostátní orgány. Přesto vzájemná propojenost energetických trhů a jejich dodavatelských tras znamená, že zajištění bezpečnosti dodávek vyžaduje úzkou koordinaci mezi sousedními zeměmi. Zvláště důležitá je v rámci EU z důvodu rozvoje jednotného trhu s energií od 90. let 20. století. Vnitrostátní trhy s energií v EU jsou více propojeny než v minulosti a fungují v rámci sdíleného právního rámce. Občanům EU to přináší mnoho výhod, pokud jde o možnost svobodně volit svého dodavatele energie, uplatňovat spotřebitelská práva a těžit z nižších cen na transparentnějších a

konkurenceschopnějších trzích. Současně větší přeshraniční propojení mezi členskými státy vyžaduje posílenou koordinaci na úrovni EU, aby nedošlo k přerušení dodávek [4].

Bezpečnost dodávek energie je globální výzva, která však vykazuje silné regionální znaky. Evropská unie stojí před jasným souborem výzev. První z nich se týká závažné závislosti na všech druzích dovážených fosilních paliv (uhlí, zemní plyn, ropa). Domácí produkce fosilních paliv v celé EU klesá, ať již kvůli omezeným rezervám, ekologickým zájmům nebo obchodním hlediskům. V důsledku toho EU dováží více než polovinu energie, kterou spotřebuje, a to za cenu přesahující 1 miliardu EUR na den. EU nyní dováží 90 % své spotřeby ropy, 69 % své spotřeby zemního plynu a 42 % své spotřeby uhlí a jiných tuhých paliv. Pozitivnějším vývojem z hlediska bezpečnosti dodávek energie je skutečnost, že EU se aktivně snaží omezit svou spotřebu energie a zvyšovat úspory energie, jakož i podporovat a podněcovat využití obnovitelných zdrojů energie, které mají pozitivní dopad na bezpečnost dodávek díky tomu, že snižují závislost na dovozu fosilních paliv. Mnoho obnovitelných zdrojů energie je vyráběno lokálně (např. větrná, solární, vodní energie) nebo může být dodáváno na místní nebo regionální úrovni, pokud je tato výroba stimulována pobídkami nebo je komerčně životaschopná (např. biopaliva) [4].

Právní předpisy EU týkající se bezpečnosti dodávek energie se zaměřují na trhy se zemním plynem a elektřinou, což odráží zejména přeshraniční problémy související s bezpečností dodávek v těchto odvětvích. Uhlí a ropa jsou mezinárodně obchodované komodity dodávané širokou škálou třetích zemí (a také některými výrobci v EU). Uhlí a ropu lze poměrně snadno skladovat a přepravovat, aniž by bylo zapotřebí rozsáhlých veřejných investic do nové infrastruktury [4].

Naproti tomu dodávky zemního plynu do Evropy zůstávají značnou měrou závislé na historických plynovodech z malého počtu producentů zemí (především z Ruska, Norska a Alžírsko). To znamená konkrétní problémy, pokud jde o diverzifikaci dodávek, přístup na trh a hospodářskou soutěž a spolehlivost infrastruktury. Pokud jde o odvětví elektřiny, největší výzvou je potřeba modernizace rozvodných sítí, aby se přizpůsobily rostoucímu podílu obnovitelných zdrojů energie a místní výrobě elektřiny pro vnitrostátní trhy s elektřinou s rostoucí přeshraniční kapacitou. Navíc některé klíčové obnovitelné zdroje energie mají proměnlivou, a ne zcela předvídatelnou nabídku (tj. větrné a solární zdroje), je tedy zásadní, aby vnitrostátní orgány v celé EU řádně koordinovaly své politiky v oblasti elektřiny, aby se zabránilo náhlým nárůstům nebo ztrátám energie [4].

1.2. Bezpečnost dodávek energií v ČR

Česká republika je zemí, která má jen omezené surovinové zdroje. Z energetických surovin musí dovážet téměř veškerou ropu a zemní plyn.

Z hlediska energetické bezpečnosti je zásadní, jaké suroviny je ČR schopna produkovat z vlastních (domácích) zdrojů a které a v jakých objemech je nutno dovážet a odkud. Suroviny produkované na vlastním teritoriu jsou z pohledu energetické bezpečnosti vysoce žádoucí.

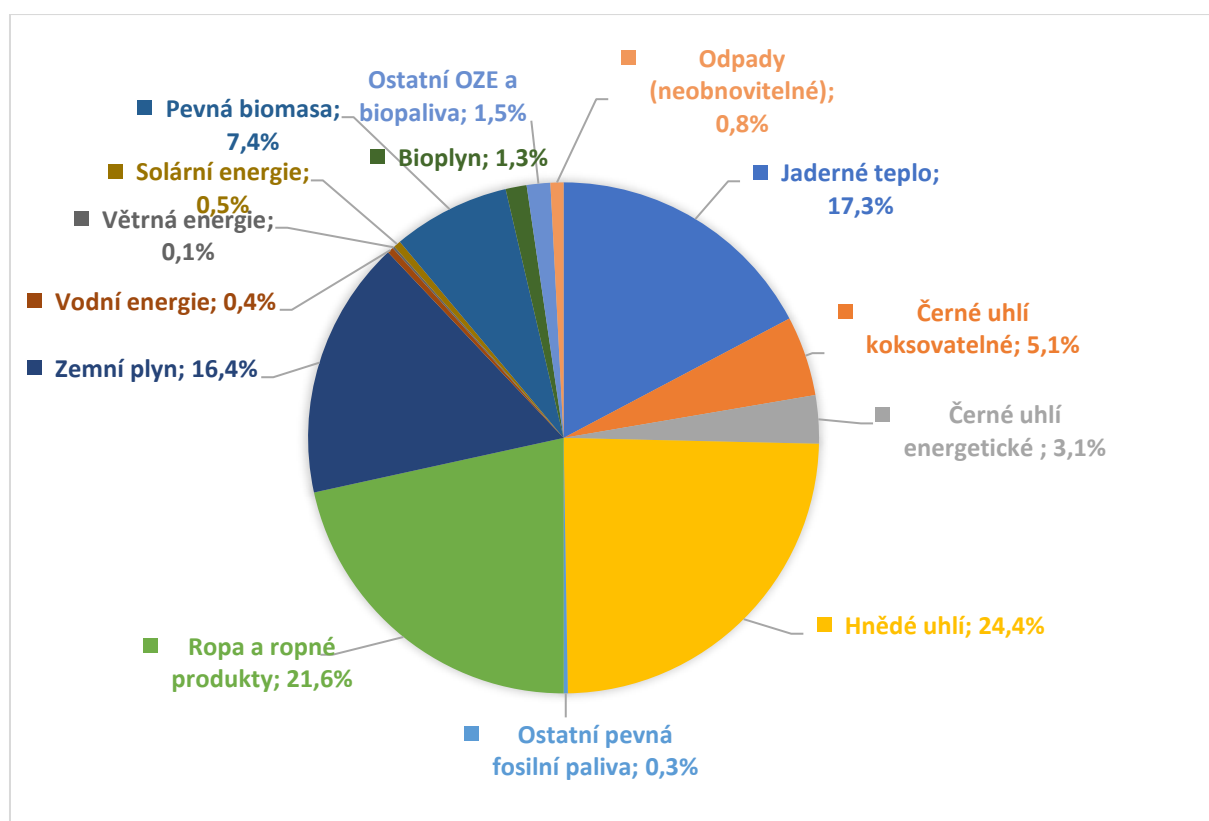
Česká republika disponuje na evropské poměry velmi významnými zásobami uranové rudy a solidními, avšak časově omezenými zásobami hnědého a černého uhlí. Význam domácích

zásob uranové rudy je znásoben záměrem posilovat v příštích desetiletích roli jaderné energetiky v domácím energetickém mixu.

ČR de facto nedisponuje relevantními zásobami dvou vysoce strategických palivoenergetických surovin, ropy a zemního plynu. Domácí produkce ropy z oblasti Břeclavska pokrývá tradičně 2 až 3 %, je tedy z národohospodářského hlediska naprosto zanedbatelná. Stejná je situace v domácí produkci zemního plynu, která pokrývá zcela nevýznamná 1 až 2 % domácí spotřeby [22].

Aktuální stav české energetiky

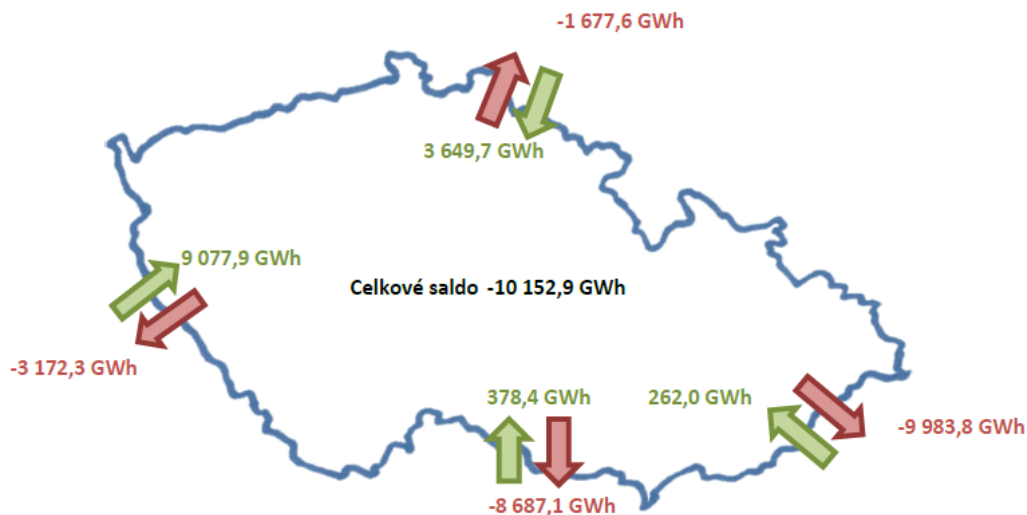
V ČR se každý rok spotřebuje celkem zhruba 1 800 PJ energie. Zdrojem energie je z jedné třetiny uhlí, z pětiny ropa a ropné produkty, z šestiny zemní plyn a rovněž z šestiny jaderná energie [22].



Graf 1 Primární energetické zdroje v ČR v roce 2020

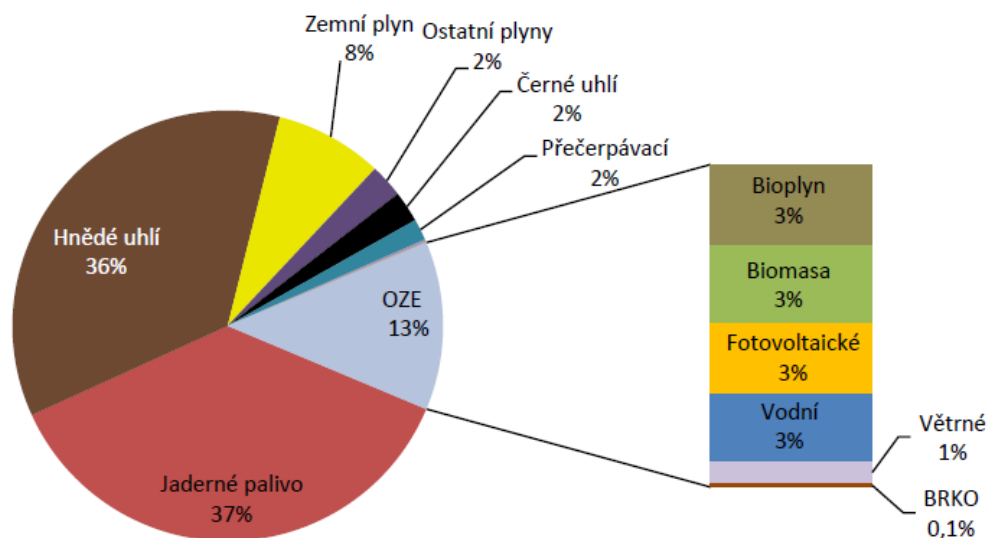
1. Elektřina

Celková výroba elektřiny v ČR je v posledních letech konstantní a pohybuje se mezi 81 a 88 TWh ročně (roce 2020 dosáhla hodnoty 81,4 TWh). Zhruba 4 % elektrické energie bylo v roce 2020 vyrobeno v parních elektrárnách, 37% v jaderných elektrárnách a 7% ve vodních, fotovoltaických a větrných elektrárnách. Celkový import elektřiny do ČR v roce 2020 činil 13,3 TWh, export z ČR 23,1 TWh. ČR je tak stále soběstačná ve výrobě elektřiny. Čistá spotřeba elektřiny v ČR kopíruje do značné míry vývoj ekonomiky [25].



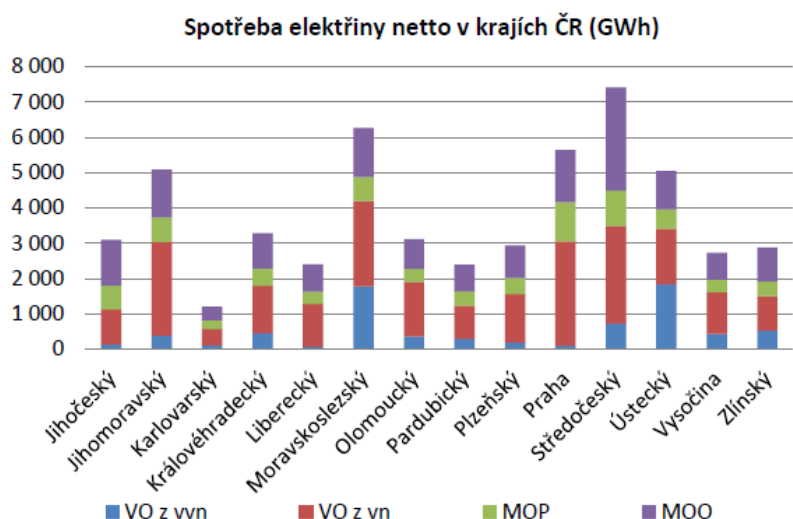
Obrázek 1 Přeshraniční fyzické toky (GWh) v roce 2020 [25]

Z hlediska paliv využitých k výrobě elektřiny převládá jaderné palivo – v roce 2020 z něj bylo vyrobeno 37 % elektrické energie. Následuje hnědé uhlí (36%), zemní plyn (8%) a černé uhlí (2%). Z obnovitelných zdrojů bylo v roce 2020 vyrobeno 13% elektrické energie, přičemž bioplyn, biomasa, fotovoltaické elektrárny a vodní elektrárny se shodně podílely 3 % na celkové výrobě elektřiny a větrné elektrárny (1 %) [25].



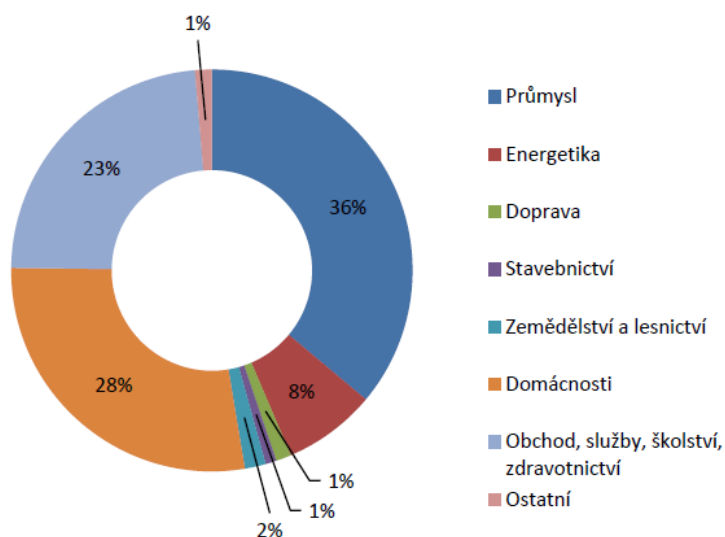
Graf 2 Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto v roce 2020 [25]

Nejvíce elektrické energie se v ČR vyrábí v Ústeckém, Jihočeském kraji a na Vysočině. Nejvíce se spotřebuje ve Středočeském, Moravskoslezském kraji a Praze (Graf 2).



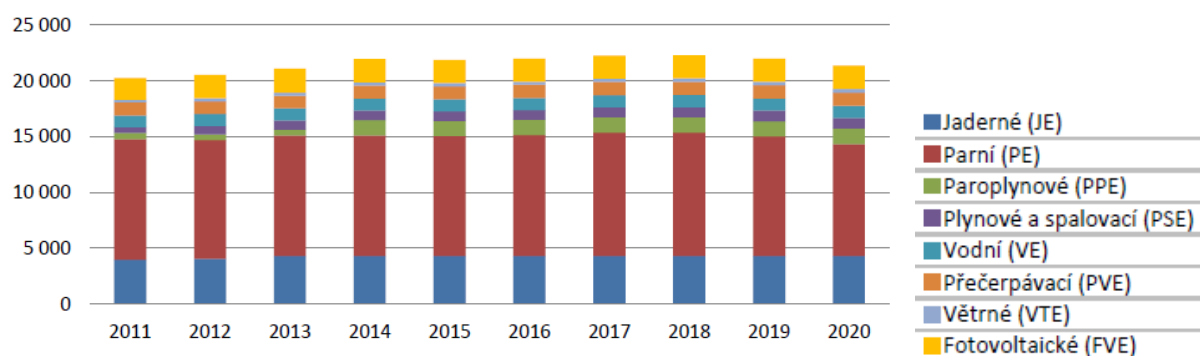
Graf 3 Spotřeba elektřiny netto v krajích ČR (GWh) v roce 2020 [25]

Nejvíce elektrické energie se spotřebuje v průmyslu, následují domácnosti, služby a sektor energetiky.



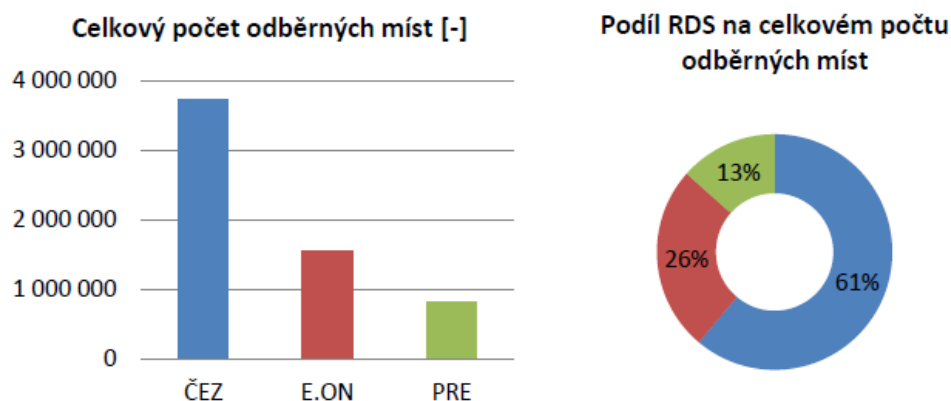
Graf 4 Podíl jednotlivých sektorů národního hospodářství na celkové spotřebě elektřiny v ČR v roce 2020 [25]

Celkový instalovaný výkon v elektrizační soustavě ČR v roce 2020 dosáhl 21 350,3 MW, z čehož nejvíce připadá na parní (uhelné) a jaderné elektrárny.



Graf 5 Vývoj instalovaného výkonu v ES ČR (MW) k 31.12.2020 [25]

Největší spotřeba elektřiny připadá na distribuční soustavu ČEZ Distribuce (61 % spotřeby, 3,72 mil. odběrných míst), následuje E.ON Distribuce (26 % spotřeby, 1,55 mil. odběrných míst) a PREdistribuce (13 % spotřeby a 816 tisíc odběrných míst).



Graf 6 Celkový počet odběrných míst a podíl RDS na celkovém počtu odběrných míst v roce 2020 [25]

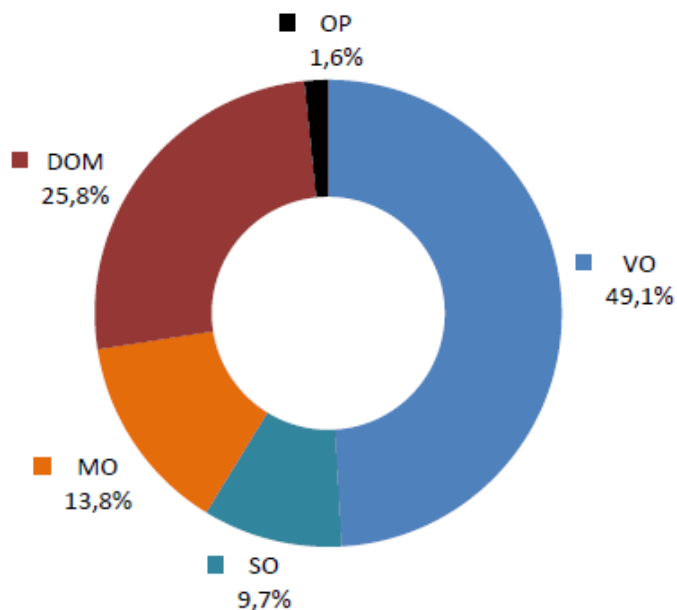
Pro případ úplného výpadku elektrického napětí (tzv. blackout) existuje aktualizovaný plán obnovy napájení prostřednictvím jednotlivých zdrojů schopných startu ze tmy.

V případě kumulace poruch nebo útoků na více místech a následné dezintegrace přenosové sítě nejsou všechny oblasti ČR schopny provozu v ostrovním režimu a proto není garantována dodávka elektřiny pro všechny velké aglomerace [25].

Za kritickou infrastrukturu v oblasti elektřiny lze považovat přenosovou soustavu (vedení přenosové soustava, elektrické stanice a technický dispečink – hlavní a záložní), distribuční soustavu (vedení distribuční soustavy, transformační stanice resp. Transformovny) a výrobní elektrické energie (parní elektrárny, jaderné elektrárny, vodní elektrárny a ostatní výrobní elektrické energie) [25].

2. Plyn

Do ČR bylo v roce 2020 dodáno 43 482 mil. m³ (464 284 GWh) zemního plynu. Téměř veškerý zemní plyn k nám byl dovezen přes hraniční předávací stanice s Německem. V roce 2020 bylo vyvezeno celkové množství 35 892 mil. m³ (383 388 GWh). Spotřeba zemního plynu v ČR za posledních deset let mírně vzrostla a rok 2020 zaznamenal nejvyšší hodnotu tohoto období. Za vyšším nárůstem spotřeby zemního plynu v posledních letech stojí především dodávka plynu na výrobu elektřiny a v malé míře dodávky plynu do CNG stanic. Z dlouhodobého hlediska se však spotřeba zemního plynu drží od roku 2007 pod hranicí 9 mld. m³ (96 TWh v roce 2020). Výroba zemního plynu v roce 2020 dosáhla 1,3 TWh (122 mil. m³), což činilo 1,8% spotřeby [26].



OP – Ostatní plyn (zahrnuje vlastní spotřebu, ztráty a změnu akumulace na distribučních soustavách)

DOM – Domácnosti

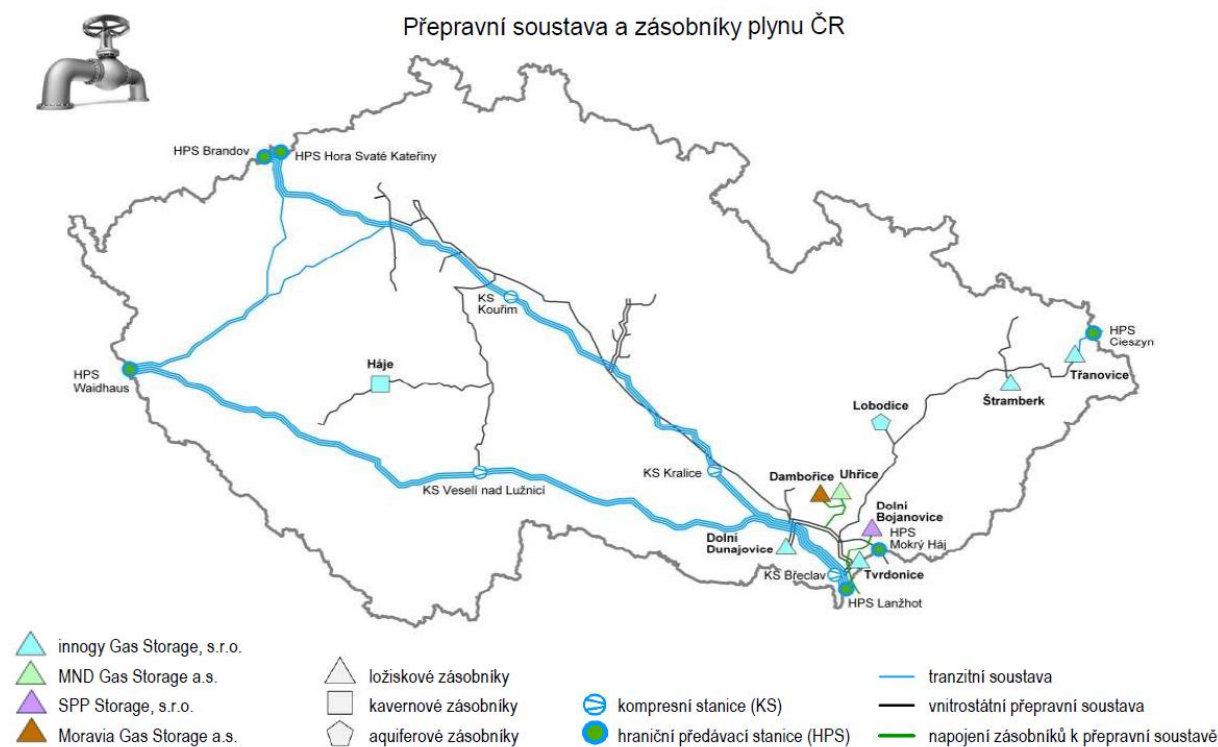
MO – Maloodběratelé

SO – Střední odběratelé

VO - Velkoodběratelé

Graf 7 Podíl spotřeby zemního plynu v ČR podle kategorií zákazníků v roce 2020 [26]

Nejvíce využívá zemní plyn v ČR podnikatelský sektor, následují domácnosti a výroba elektřiny. Nejvíce jednotlivých zákazníků je však z řad domácností. Největším distributorem zemního plynu konečným zákazníkům je společnost GasNet, následují Pražská plynárenská distribuce a E.ON. Přeshraniční přepravu plynu zajišťuje NET4GAS [26].



Obrázek 2 Převravní soustava a zásobníky plynu v ČR v roce 2020 [26]

V současné době je pro tuzemskou spotřebu využíváno sedm podzemních zásobníků plynu, které jsou na území ČR a dále jeden zahraniční podzemní zásobník na Slovensku. Jeden podzemní zásobník, který je na území ČR, je využíván pouze pro potřeby Slovenské republiky.

Schopnost vytvořit zásobu pro zimní období se pohybuje kolem jedné třetiny celkové roční spotřeby zemního plynu. Poměr skladovací kapacity k celkové roční spotřebě je tak v evropském porovnání nadprůměrný.

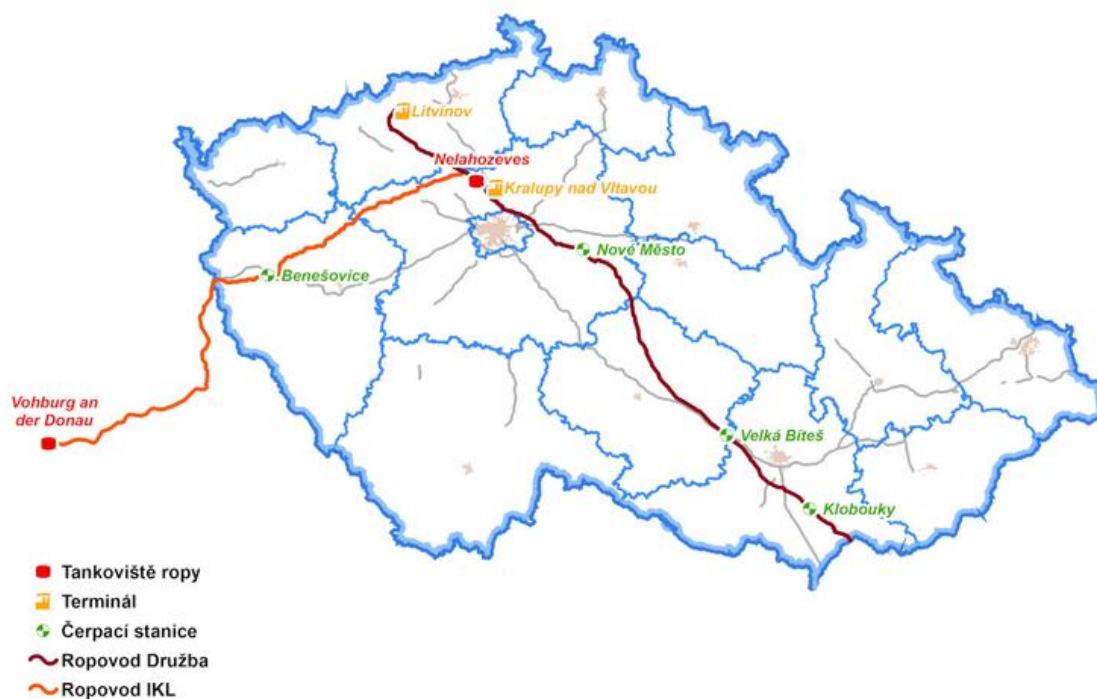
V sektoru plynu lze považovat za oblasti kritické infrastruktury přenosovou soustavu, distribuční soustavu a zásobníky plynu [26].

3. Ropa

ČR pokrývá cca 96 % své potřeby ropy jejím importem. Z pohledu státních hmotných rezerv a zajištění funkčnosti a odolnosti kritické infrastruktury, by měla být nouzová zásoba ropy dle směrnice EU na 90 dní. K 1.7.2021 má ČR nouzové zásoby na 94,43 dne. Česko tak po čtyřech letech tyto směrnice plní. Naposledy byla směrnice naplněna v roce 2016, kdy byly zásoby zhruba na 91 dní [56].

Nouzové zásoby ropy a ropných produktů mají pro Českou republiku mimořádný význam. Naposledy se to ukázalo v květnu 2019. V ropovodu Družba se objevila kontaminovaná ropa a musel být zastaven. Celý měsíc pak do republiky nepřitekla ani litr ruské ropy a země se musela spolehnout právě na nouzové zásoby Správy státních hmotných rezerv (SSHM). SSHM zapůjčila společnosti Unipetrol ropu z českých rezerv, díky tomu nemusela být odstavena z provozu rafinérie v Litvínově, která zpracovává ruskou sirnou ropu a která zásobuje český trh naftou. Během této měsíční odstávky ropovodu Družba uvolnily státy V4 (Česká republika, Polsko, Maďarsko a Slovensko) ze svých rezerv téměř 2 miliony tun ropy. Jen Unipetrol si z českých zásob půjčil přes 250 tisíc tun [56].

Celkový objem ropy přepravené do ČR v roce 2019 oběma ropovody (Družba: délka trasy v ČR včetně zdvojení a odboček: 473 km; IKL: délka trasy v ČR: 168,6 km) dosáhl 7 737,7 tis. tun [57] [58].



Obrázek 3 Ropovodní systém v České republice [59]

Skladovací kapacita pro potřeby Správy státních hmotných rezerv na Centrálním tankovišti ropy Nelahozeves činí 1 081 191 tun ropy [19].

Rafinérské zpracování ropy provádějí v ČR dvě společnosti: ČESKÁ RAFINÉRSKÁ, a.s., Litvínov a PARAMO, a.s. Pardubice [19].

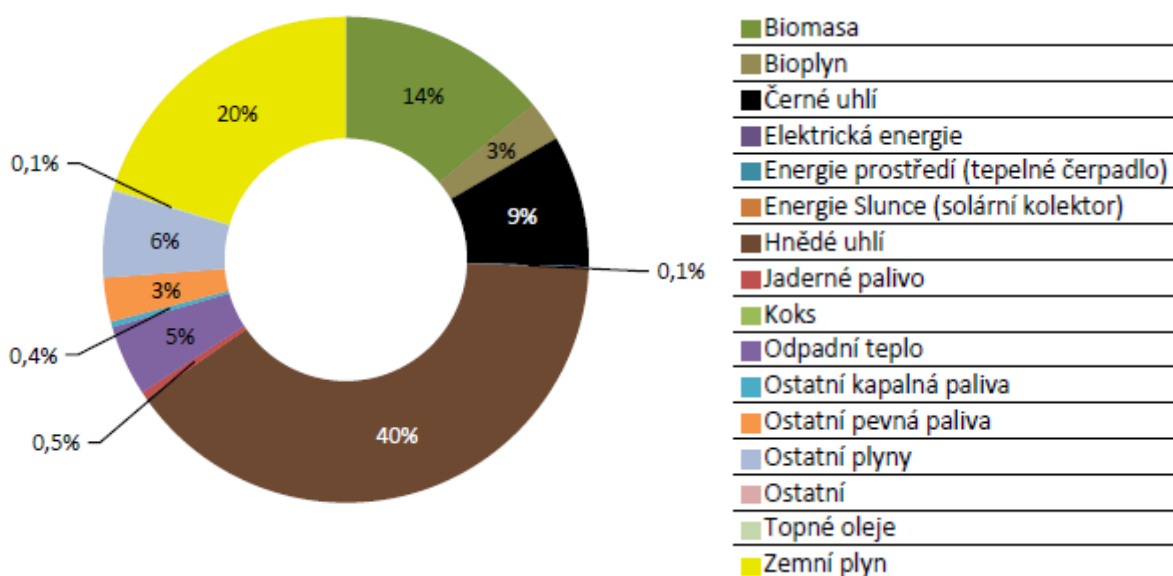
4. Tepelná energie

V roce 2020 bylo vyrobeno celkem 156 917,7 TJ tepla brutto. Zhruba 31% z brutto výroby bylo spotřebováno ve vlastním podniku nebo zařízení (převážně jde o závodní teplárny) [27].

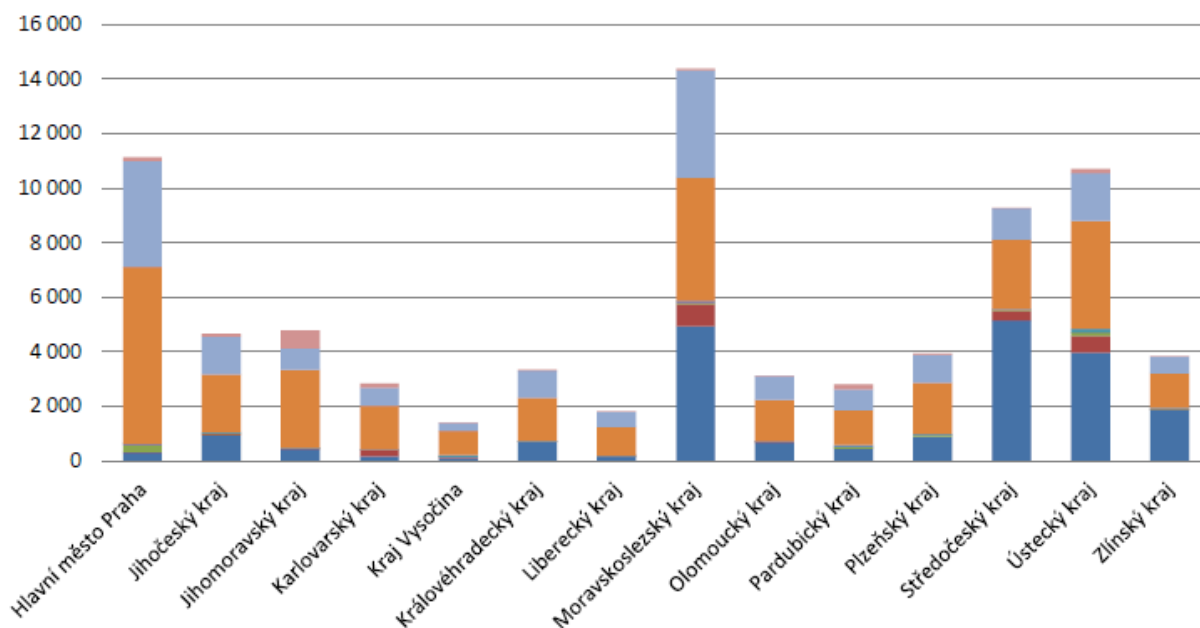
Dodávky tepla představovaly 85 928,5 TJ. Nejvíce tepla bylo vyrobeno z hnědého uhlí (40%), následuje zemní plyn (20%) a biomasa (14%). Nejvíce tepla bylo vyrobeno v Ústeckém kraji (19,43 %), následuje Moravskoslezský kraj (19,36 %) a Středočeský kraj (16,6 %) [27].

Nejvíce tepla z černého uhlí se vyrobilo v Moravskoslezském kraji (92%), z hnědého uhlí v Ústeckém kraji (30%), ze zemního plynu ve Středočeském kraji (21%), z biomasy v Ústeckém kraji (37%) a z bioplynu v kraji Vysočina (16%) [27].

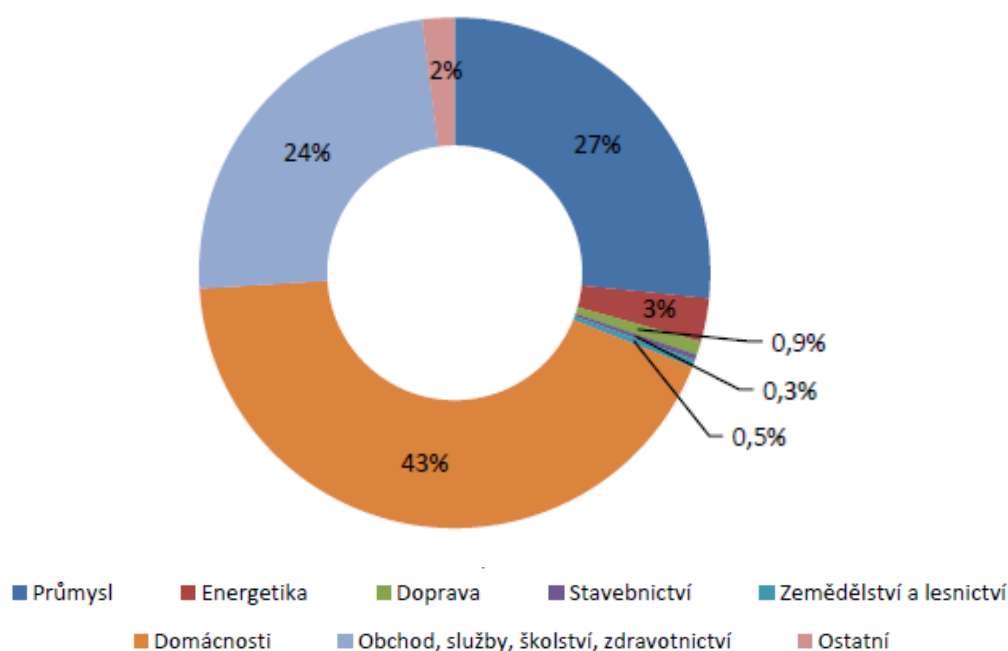
Celkově bylo vyrobeno z kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET) 100 297,1 TJ užitečného tepla, což činí 68 % z výroby tepla netto. Nejvíce se užitečného tepla z KVET vyrobilo z hnědého uhlí (50%), následuje biomasa (17%) a zemní plyn (12%). Nízký podíl užitečného tepla ze zemního plynu na teplu netto (38%) je způsoben vyšším počtem výtopen na zemní plyn než kogeneračních jednotek [27].



Graf 8 Podíl paliv na výrobě tepla brutto v roce 2020 [27]



Graf 9 Spotřeba tepla v krajích ČR podle sektorů národního hospodářství (TJ) v roce 2020



Graf 10 Podíl jednotlivých sektorů národního hospodářství na spotřebě tepla v ČR v roce 2020

1.3. Energetická bezpečnost

Energie jsou neodmyslitelně spjaty s rozvojem životní úrovně. Fosilní paliva (uhlí, ropa a zemní plyn) měla zásadní roli pro rozvoj průmyslových společností a poté globální prosperity. Energie formují způsob moderního života a přispívají k jeho kvalitě. Zdroje energií jsou však po světě rozmístěny velmi nerovnoměrně, mnoho států není schopno pokrýt poptávku vlastními zdroji. Komodity jsou exportovány a importovány, funguje tak energetický trh. Obchod s energiemi

vykazuje v jednotlivých případech odlišnosti. Může být formován např. geografickými podmínkami vybraného obchodu (přeprava surovin přes tranzitní země), dále politickou a ekonomickou situací aktérů, jež obě mohou podobu energetického obchodu ovlivnit. Výsledná specifika energetické spolupráci mohou mít vliv na domácí situaci aktérů, atd. Z toho důvodu je potřeba zajistit systém či pravidla pro udržení energetické bezpečnosti [7].

Posláním energetiky je zajistit spolehlivou, bezpečnou a k životnímu prostředí šetrnou dodávku energie pro potřeby obyvatelstva a ekonomiky ČR za konkurenceschopné a přijatelné ceny za normálních podmínek a současně zabezpečit nepřerušenu dodávku energie v krizových situacích v rozsahu nezbytném pro fungování nejdůležitějších složek infrastruktury státu a zajištění šance obyvatelstva na přežití v krizových situacích a následnou obnovu jejich standardních funkcí za aktivní účasti měst a obcí.

Strategické priority energetiky ČR

- Vyvážený mix zdrojů založený na jejich širokém portfoliu, přednostním využití všech dostupných tuzemských energetických zdrojů a udržení přebytkové výrobní a výkonové bilance v elektrizační soustavě jako základu stability, energetické bezpečnosti a odolnosti.
- Zvyšování energetické účinnosti a dosažení úspor energie v hospodářství i v domácnostech.
- Rozvoj síťové infrastruktury ČR v kontextu zemí střední Evropy, posílení mezinárodní spolupráce a integrace trhů s elektřinou a s plynem v regionu, včetně podpory vytváření účinné a akceschopné společné energetické politiky EU.
- Podpora výzkumu, vývoje a inovací zajišťující konkurenceschopnost české energetiky a podpora školství, s cílem generační obměny a zlepšení kvality technické inteligence v oblasti energetiky.
- Zvýšení energetické bezpečnosti a odolnosti ČR a posílení schopnosti zajistit nezbytné dodávky energií v případech kumulace poruch, vícenásobných útoků proti kritické infrastruktuře a v případech déletrvajících krizí v zásobování palivy.
- Zajištění šetrného přístupu k životnímu prostředí a minimálních dopadů energetiky na životní prostředí [19].

Energetická soběstačnost, odolnost a bezpečnost

Dosažení maximálně možné energetické soběstačnosti, odolnosti a bezpečnosti ČR jako schopnosti energetiky, zachovat dodávky energií prostřednictvím vhodné velikosti, struktury rezervních kapacit, zásobníků energií a kapacit přenosových a distribučních sítí v rozsahu nezbytném pro přežití obyvatelstva a funkčnost nejdůležitější infrastruktury státu v případech střednědobého i dlouhodobého omezení či úplného přerušení dodávek energetických komodit ze zahraničí a v případech rozsáhlých živelních pohrom či vnějších útoků.

Hlavními cíli je:

- Zajistit plný a neomezený rozsah dodávek energií v případě krátkodobých a střednědobých výpadků jednoho dodavatele nebo ztráty (poruchy) jednoho přeshraničního propojení.

- Zajistit pokrytí minimálních technologických potřeb hospodářství a pokrytí nezbytné spotřeby obyvatelstva v případě střednědobých a dlouhodobých výpadků jednoho dodavatele nebo jednoho propojení, a v případech krátkodobých a střednědobých výpadků v rozsahu úplného zastavení dodávek energetických komodit ze zahraničí nebo v případě provozu příslušného síťového systému ČR v ostrovním provozu.
- Zajistit schopnost dodávek energií v lokálních (ostrovních) subsystémech v případě rozpadu systému vlivem rozsáhlých poruch způsobených živelními událostmi nebo teroristickým útokem v rozsahu nezbytném pro minimální zásobování obyvatelstva a udržení funkčnosti infrastruktury.
- Zajistit dodávky základních energií a jejich substitutů na minimální technologické úrovni a úrovni zajišťující chod společnosti pro dlouhotrvající výpadky dodávek ze zahraničí.
- Trvale zajišťovat schopnost rychlé obnovy síťových systémů po jejich rozpadu bez podpory ze zahraničních systémů.
- Realizovat opatření na zvýšení připravenosti státu čelit hrozbám vůči strategickým energetickým zařízením a trasám (ochrana kritické infrastruktury), koordinovaná mezi členskými státy EU.

Hrozby ohrožující energetickou a surovinovou bezpečnost ČR:

- přerušení dodávek strategických surovin do ČR,
- vyřazení významné části kritické infrastruktury z provozu, jak v důsledku výpadku dodávek energií či surovin, tak i v důsledku fyzického či kybernetického útoku,
- výpadek dodávek elektrického proudu v rozsahu a trvání, které ohrožuje fungování státu,
- ztráta kontroly státu nad významnou částí kritické infrastruktury,
- ovládnutí významné části českého energetického a surovinového trhu či kritické infrastruktury netransparentními subjekty nebo subjekty jednajícími v rozporu se zájmy ČR,
- prohlubování závislosti na dominantním dodavateli,
- ztráta postavení ČR jako tranzitéra energetických surovin pro staré členské země EU,
- nepříznivé vychýlení energetického mixu ČR ve prospěch surovin, na jejichž dovozu je ČR závislá nebo jejichž využívání je neekonomické a ohrožuje konkurenceschopnost české ekonomiky,
- ztráta či uzavření zpracovatelských kapacit v ČR, a to především v ropném sektoru,
- ztráta schopnosti dále rozvíjet a modernizovat kritickou infrastrukturu a celý energetický sektor – především kvůli legislativním a procesním překážkám,
- ztráta konkurenceschopnosti energetického sektoru a také know-how a lidských zdrojů v energetickém odvětví.

V současnosti je pojem energetická bezpečnost využíván jako obecný pojem pro označení spolu úzce souvisejících jevů. Může to být například stabilní přístup k zásobám energetických surovin a zajištění jejich dodávek, umožňující ekonomický růst a politickou moc, která má tento přístup zajišťovat. Samotnou definici energetické bezpečnosti potom nelze určit přesně, neboť je nutné nejdříve kategorizovat, o čí energetickou bezpečnost se vlastně jedná - buď země, která suroviny importuje, či naopak země, která dané suroviny exportuje. Obě strany

potom mají zájem o nerušený export, resp. import. V případě přerušení tohoto stabilního toku jim totiž hrozí dočasné přerušení přísunu finančních prostředků, ale i paralyzování celých odvětví národního hospodářství [11].

V rámci energetické bezpečnosti lze definovat několik možností zabezpečení energetické bezpečnosti [11]:

A) Diverzifikace

Diverzifikací se rozumí rozrůznění a může mít v podstatě tři podoby:

1) Diverzifikace zdrojů energie

V tomto případě se jedná o snahu spotřebitelských zemí zvýšit počet alternativních zdrojů energie, například rozvoj využití energie atomové, sluneční, větrné nebo vodní. V důsledku se tedy nespoléhat pouze na zdroje ropy a zemního plynu.

2) Diverzifikace geografická

Tento případ usiluje o rozrůznění zdrojů dodávek ropy a zemního plynu z co možná největšího počtu zemí tak, aby byla omezena možnost monopolizace dodávek surovin z jedné země.

3) Diverzifikace tranzitní

V tomto případě se snažíme zvýšit počet možných cest, kterými se od jednoho exportéra daná surovina dostává. Prakticky si to potom můžeme představit například jako stavbu dalšího ropovodu či plynovodu, která povede přes území jiného státu, než to, které jsme měli doposud.

B) Efektivita

Pod druhým významným faktorem energetické bezpečnosti si můžeme představit maximální efektivní využívání energie tak, aby nedocházelo k plýtvání cennými surovinami.

C) Rezervace

Tímto faktorem se rozumí rezervování, neboli uchování zásob strategické suroviny, pro případ výpadku dodávky ze sítě. Výsledkem této činnosti potom jsou Státní hmotné rezervy strategických surovin [11].

1.4. Narušení dodávek elektřiny a energie

Narušením dodávek elektřiny a energie se jedná se o stav, kdy dojde až k několikadennímu výpadku dodávky elektřiny, tepla, plynu nebo i pohonných hmot a tím k omezení běžného fungování společnosti, někdy i k ohrožení života a zdraví. Může se jednat jak o omezení následkem přírodních katastrof souvisejících s klimatem, tak o selhání způsobené přetížením elektrické sítě (blackout), případně opravami sítí (plánovanými či po haváriích). Klimatická změna vede nejen ke zvýšení přírodních katastrof (povodně, vichřice, ledové jevy), tak k vyšším odběrům elektřiny (k části výpadků dochází během vln veder, kdy naplno běží klimatizace). U dopadů výpadků energie na společnost je významné to, že vedou k nefunkčnosti dalších segmentů infrastruktury – může dojít k přerušení dodávek pitné vody, nefungují komunikační technologie, bankovníctví, je ohroženo zdravotnictví, stravování atp. [5].

Nejvíce zranitelná místa jsou primárně určena obydleným územím, jelikož negativní dopad přerušení dodávek se projevuje především u obyvatel a podniků. Výpadkem elektřiny je obydlené území zranitelné víceméně rovnoměrně, v případě zásobování teplem a plynem jsou narušením dodávek zranitelná pouze místa na nich závislá [5].

Dopady v oblasti zásobování elektřinou vedou jak k narušení a omezení běžného fungování, tak mohou mít značné sekundární dopady, především v případě dlouhodobých výpadků. Přerušení zásobování elektřinou může vést ke vzniku různých technologických havárií a dále narušovat zásobování teplem, vodou a omezovat dopravu (vlaky). Velké výpadky mohou mít znatelné ekonomické dopady. V případě narušení dodávky tepla a plynu jsou dopady odvislé od velikosti a charakteru zasaženého území. V případě, že jsou k dispozici náhradní zdroje elektřiny a tepla (například bioplynové stanice), které je možné využít v rámci místní rozvodné sítě, se zranitelnost snižuje [5].

1.4.1. Blackout

Pojem blackout je označení pro poruchu elektrické rozvodné sítě. Tato síť zásobuje rozsáhlé území elektrickou energií. Blackout bývá považován za jednu z nejničivějších hrozeb 21. století, a to hlavně pro průmyslově a technologicky vyvinuté státy, mezi které patří i Česká republika. Vedle samotného zatížení přenosové soustavy může tato situace nastat také při extrémní spotřebě elektřiny, chybou v koordinaci při propojení národních energetických soustav nebo kvůli technickému stavu energetické sítě. Tento stav dále může nastat při živelných pohromách, při realizaci opatření státních orgánů za nouzového stavu, stavu ohrožení státu nebo válečném stavu, při haváriích na zařízeních pro výrobu a distribuci elektrické energie [12].

Největší blackoutu v historii a jejich příčiny

Blackout je reálná hrozba pro celý svět. Během historie již na některých místech světa nastal a jeho následky byly vždy katastrofální. Příčin vzniku těchto rozsáhlých blackoutu může být celá řada. V historických případech hrály hlavní roli závady na často zastaralých zařízeních elektrizační soustavy nebo chyby obsluhy způsobené například nedostatečnou komunikací mezi provozovateli propojených přenosových soustav. Zastaralé předpisy pro řízení přenosových soustav nebraly v úvahu jejich propojování do národních celků, deregulaci trhu s elektřinou a rozvoj obnovitelných zdrojů. Tabulka 2 uvádí souhrn těch největších blackoutu v historii lidstva. Jejich závažnost je určována jak délkou trvání, tak počtem zasažených odběratelů [24].

Tabulka 1 Seznam největších blackoutu v historii [24]

Datum	Trvání	Zasaženo odběratelů [mil.]	Zasažená oblast	Prvotní příčina
9. 11. 1965	14 hodin	30	Severovýchod USA a část Kanady	Chyba v nastavení ochrany, 1. velký blackout v historii
13. 7. 1977	25 hodin	9	Město New York	Kombinace poruch a chyb
20. 2. 1998	5 týdnů	0,06	Auckland (Nový Zéland)	Závada na zastaralém kabelu vysokého napětí

14. 8. 2003	60 hodin	50	Severovýchod USA a část Kanady	Přetížení systému následkem vysokého odběru, porucha vedení
28. 8. 2003	1 hodina	0,5	Londýn	Dva výpadky v rychlém sledu
23. 9. 2003	2 hodiny	5	Dánsko a jih Švédska	Závada odpojovače po výpadku jaderné elektrárny
28. 9. 2003	12 hodin	56	Itálie, část Švýcarska	Bouře poničila vedení VVN
12. 7. 2004	12 hodin	5	Jih Řecka	Přetížení přenosové soustavy
18. 8. 2005	7 hodin	100	Bali, Jáva a Indonésie	Výpadek vedení VVN
27. 4. 2007	4,5 hodiny	25	Kolumbie	Chyba obsluhy v rozvodně
28. 1. 2008	12 dní	>30	Čína	Sněhová bouře zničila vedení VVN
8. 9. 2011	12 hodin	3	USA a Mexiko	Výpadek vedení VVN, chyba obsluhy
30. 7. 2012	16 hodin	300	Indie	Přetížení vedení VVN
31. 7. 2012	8 hodin	670	Indie	Závada relé, největší světový výpadek
26. 10. 2012	4 hodiny	53	Brazílie	Požár v rozvodně
15. 11. 2012	1 hodina	0,45	Mnichov, Německo	Závada v rozvodně
27. 3. 2015	2 hodiny	17	Holandsko	Přetížení sítě
31. 3. 2015	5 hodin	76	Turecko	Nehoda v přenosové soustavě

1.4.2. Příčiny a dělení blackoutu

Nejčastějšími příčinami blackoutu jsou poruchy způsobené člověkem a meteorologickými jevy. Nicméně nelze se omezit pouze na tyto příčiny. Vzhledem k tomu, že při blackoutu dojde k obrovským škodám na majetku, zdraví a ekonomice, lze si domyslet, že je to vhodný cíl pro teroristický útok [21].

Z hlediska příčin, lze blackout rozdělit do tří kategorií [21]:

Blackout prvního stupně - Tento blackout může trvat podle příčiny vzniku řádově minuty až jeden / dva dny, pokud je zapříčiněn rozpadem provozu přenosové soustavy bez poškození - anebo pouze menší rychle opravitelnou destrukcí některé její části. Nejvíce relevantní příčinou tohoto stupně může být v současnosti přetížení a nestabilita propojené soustavy v důsledku stále většího výkonu kolísavých obnovitelných zdrojů a zpožďující se adekvátní přestavby sítě.

Blackout druhého stupně - Tento blackout může trvat dny až týdny, pokud by došlo k masivnější destrukci více než jednoho vedení přenosové soustavy. Nejpravděpodobnější příčinou tohoto blackoutu by mohl být ničivý orkán zasahující, obdobně jako orkány Kyrill a Emma, celé území sátu. Další příčinou by v případě zhoršující se geopolitické situace mohly být synchronizované útoky provedené současně na několik vedení přenosové soustavy.

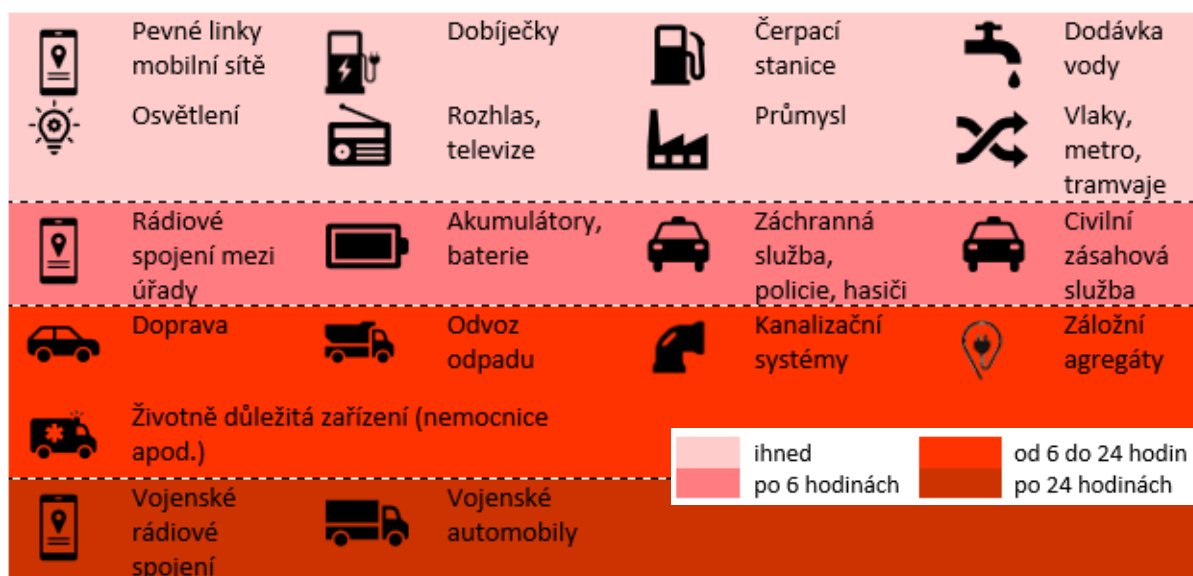
Blackout třetího stupně - Tento blackout by mohl trvat ještě déle než dva předchozí, pokud by byly cíleným a synchronizovaným útokem vyřazeny najednou vazební transformátory propojující přenosovou soustavu s distribučními soustavami.

Druhý a třetí stupeň blackoutu je zpravidla způsoben cílenými útoky teroristických skupin, za účelem vyřazení energetické sítě státu. Výjimkou jsou samozřejmě přírodní katastrofy, které by působily totální destrukci energetické sítě, např. pád meteoritu, výbuch sopky nebo vlny tsunami [21].

1.4.3. Následky blackoutu

Následky blackoutu by byly drtivé a zvětšovaly by se s každou minutou trvání blackoutu.

Takto závažný výpadek elektrické energie může znamenat ohrožení průmyslové výroby, dopravních elektrifikovaných systémů, omezení nebo přerušování dodávek pitné vody, plynu a tepelných energií, omezení telekomunikačního provozu a provozu výpočetních systémů, narušení sociální situace, zvýšení počtu negativních sociálních jevů, kriminality všeho druhu, poklesu životní úrovně obyvatel. Měl by samozřejmě dopady i na peněžní trh z důvodu nefunkčnosti bankomatů a na zásobování potravinami [21].



Obrázek 4: Následky blackoutu v časovém rozložení – Co kdy přestane fungovat po blackoutu

1.4.4. Možný scénář důsledků blackoutu

Důsledky blackoutu se v každém státě různí, neboť nejsou všechny státy na stejné úrovni rozvoje průmyslu, obchodu, dopravy a služeb. Pro stanovení možných důsledků blackoutu jsou v případě této práce zvoleny vyspělé a rozvinuté státy.

První okamžiky po výpadku

V prvních okamžicích po výpadku by přestala fungovat městská hromadná doprava s výjimkou autobusů. To by znamenalo absenci metra, trolejbusů a tramvají. Současně s tím by došlo i k okamžitému přerušování veškeré železniční a letecké dopravy. Zhasly by semaforey, což by vedlo k postupnému dopravnímu chaosu ve městech a na klíčových dopravních uzlech. Během blackoutu se až na výjimky počítá s výpadkem zásobování pohonnými hmotami.

Brzy na to dochází k výpadku mobilního spojení, kvůli vyčerpání rezervních agregátů mobilních sítí. Z počátku je provoz ve zdravotnických zařízeních veden normálně díky náhradním agregátům, po několika hodinách je ovšem lékařská péče věnována jen naléhavým případům.

Přestávají fungovat banky, bankomaty a v obchodech pokladny, takže všechna tato a další zařízení včetně nejrůznějších služeb jsou nutná přerušit svou činnost.

V domácnostech nefungují všechny elektricky poháněné spotřebiče včetně vytápění a telefonního spojení na pevných linkách [23].

Třídenní výpadek elektřiny

Dopravní chaos je zmírněn z důvodu zmenšující se zásoby pohonných hmot u konečných spotřebitelů. Z důvodu nefunkčnosti bank a bankomatů začíná řada lidí pociťovat nedostatek finanční hotovosti. Začínají se množit komplikace se zásobováním, kvůli nefunkčnosti supermarketů a hypermarketů jsou menší klasické prodejny brzy vyprodané. Ve zdravotnických zařízeních jsou prováděny jen nejnútnejší akutní operace. Začínají se množit hygienické problémy související s kažením potravin. Začíná se komplikovat zásobování pitnou vodou. Roste nespokojenost občanů, objevují se první případy násilí a rabování. Státní samosprávné orgány mají za primární cíl obnovení dodávky elektrické energie, a proto jsou nepokoje řešeny jen sporadicky [23].

Velká základní odvětví systému (doprava, počítačové sítě, zásobování, zdravotnictví, hygiena) začínají kolabovat. Na postiženém území nefunguje výroba, lidé nechodí do zaměstnání a stravují se ze zásob. Začíná fungovat skromná pomoc od okolních nepostižených regionů a sousedních zemí [23].

Týdenní výpadek elektrické energie

Nadále trvá kolaps dopravy, telefonního spojení a bankovního systému, selhává zásobování, problematické je předávání jakýchkoliv informací.

Obyvatelstvu dochází potraviny a peníze, což vede k násilné a trestné činnosti. Dochází k ochromení zdravotní péče a vznikají závažné hygienické problémy vyvolané nedostatkem pitné vody. Lidé se bojí vycházet ven kvůli kriminální činnosti a zaměřují se na ochranu svého majetku. Někteří obyvatelé začínají postižené území opouštět [23].

1.4.5. Blackout 2014

Na začátku roku 2014 proběhlo na území hlavního města Prahy ojedinělé cvičení, pro případ možného blackoutu. Doslova se jednalo o cvičení na téma: "Rozsáhlý výpadek dodávky elektrické energie na území hl. m. Prahy - Blackout 2014". Jednalo se o vnitrostátní cvičení krajské úrovně. Tento nácvik proběhl dne 26. 2. 2014 na území hlavního města Prahy. Toto cvičení se uskutečnilo z podnětu primátora hl. m. Prahy jako štábní cvičení orgánů krizového řízení, základních složek integrovaného záchranného systému a vybraných organizací [12].

Hlavním cílem cvičení bylo ověření reakcí a akceschopnosti orgánů hl. m. Prahy, základních složek IZS, vybraných subjektů kritické infrastruktury a dalších vybraných součinnostních organizací v dané situaci. Dalším cílem bylo ověřit soběstačnost elektrické energie, tepla, plynu, pitné vody a dalších dodávek pro zabezpečení základních životních potřeb obyvatelstva a jejich distribuce na území hl. m. Prahy v případě dlouhodobého přerušování dodávek elektrické energie velkého rozsahu, včetně jejich obnovení. Dílčími cíly cvičení bylo ověřit funkčnost systému předávání informací mezi základními a ostatními složkami IZS a připravenost systému varování obyvatelstva, procvičit svolání a činnost krizového štábu hl. m. Prahy a motivování

spoluobčanů k pocitu zodpovědnosti za svou vlastní připravenost na zvládnutí takovéto situace [12].

Na základě cvičení byl nejdříve stanoven úvod do děje, kterým celý nácvik započal. Jednalo se o nepříznivé povětrnostní vlivy na území města Prahy. V jejich důsledku došlo k poškození přenosové soustavy a následnému výpadku elektrické energie na území hlavního města a v přilehlých oblastech. Předpokládaná doba obnovení dodávek je 30 hodin.

Následkem těchto smyšlených situací je ochromena činnost hl. m. Prahy. Důležité objekty kritické infrastruktury přechází na nouzový provoz ze záložních zdrojů. Z důvodu cvičení je zastavena značná část městské hromadné dopravy.

Je svolán krizový štáb, na kterém jsou primátor města Prahy, zástupci organizací ČEPS, PREDistribuce, a.s., Dopravního podniku hl. m. Prahy, PVK, Pražské teplárenské, Pražsképlynárenské, ČTU a Správy železničních a dopravních cest. Společně vyhláší stav nebezpečí. Na základě scénáře jsou potom zadávány fiktivní úkoly složkám IZS, které se je musí snažit plnit podle stanoveného rozpisu. Jedná se například o výjezdy k fiktivním požárům, evakuace osob, výtržnosti atp.. Na základě plnění těchto úkolů jsou potom výsledky předávány krizovému štábu.

Krizový štáb mimo zadávání úkolů IZS řeší další úkony nutné ke zvládnutí krizové situace. Uzavírá školy, mateřské školy, je realizováno nouzové zásobení pitnou vodou, zřizují se informační centra. Dále je zajišťován rozvoz PHM pro náhradní zdroje prvků kritické infrastruktury. Rozhoduje se o nahrazování povrchové dopravy a je zajišťována humanitární pomoc pro občany. Také se sleduje, zda je zajištěno dostatečné zásobování obchodů potravinami [12].

Vyhodnocení cvičení Blackout 2014 stanovuje, že bylo zjištěno několik nedostatků, které se podařilo díky cvičení definovat, a tak je možné sjednat jejich nápravu. Díky tomuto cvičení bylo navrženo 32 konkrétních doporučení ke zlepšení současného stavu. Tato doporučení byla uložena jednotlivým zástupcům MHMP a složkám IZS a šest návrhů zlepšení bylo předloženo Bezpečnostní radě státu [21].

Cvičení se také podařilo poukázat na nedostatky při zásobování občanů pitnou vodou. Dále bylo díky cvičení zjištěno, že prakticky neexistuje žádný seznam pacientů, kteří jsou doma na přístrojích, a tak v případě výpadku není zajištěná dostatečná péče o ně [21].

Ze závěrů cvičení také vyplývá, že je nutné provést další cvičení výpadku elektrické energie v součinnosti s Dopravním podnikem hl. m. Prahy a také samostatné cvičení s Pražskými vodárnami a kanalizacemi k zajištění dodávek pitné vody [21].

1.5. Kritická infrastruktura

V obecném hledisku lze kritickou infrastrukturou označit cokoliv, co má přímý vliv na bezchybné fungování určitého systému (např. státu) a zároveň je to i samotná součást tohoto systému.

1.5.1. Definice kritické infrastruktury

"Kritickou infrastrukturu tvoří zařízení, služby a informační systémy, které jsou nezbytné pro stát a jejich nefunkčnost nebo zničení oslabuje národní nebo ekonomickou bezpečnost a má negativní dopady na zdraví a bezpečnost veřejnosti a účinné fungování veřejné správy." Mimo tuto definici lze kritickou infrastrukturou rozumět vzájemně propojené sítě či systémy obsahující určitá odvětví a instituce poskytující spolehlivý tok produktů a služeb podstatných pro obranu a ekonomickou bezpečnost, kterou lze chápat jako schopnost státu konkurovat na globálních trzích, zatímco se udržují na přijatelné úrovni reálné příjmy obyvatel a fungování veřejné správy na všech úrovních společnosti [9].

V souvislosti s kritickou infrastrukturou státu nejde jen o výjimečné situace ohrožení životů obyvatel a státu, ale jde také o zachování normálního provozu společnosti [19].

Obsah kritické infrastruktury se v každé zemi různí. V České republice to jsou [10]:

- energetika,
- vodní hospodářství,
- potravinářství a zemědělství,
- zdravotní péče,
- doprava,
- komunikační a informační služby,
- finance a státní správa
- nouzové služby,
- veřejná správa.

1.5.2. Energetika jako součást kritické infrastruktury

V návaznosti na kritickou infrastrukturu je pro téma této práce nejdůležitější její část zabývající se energetikou. Energetika je jedním z rozhodujících a nejdůležitějších prvků kritické infrastruktury. Její důležitost je v závislosti ostatních prvků kritické infrastruktury na jejím fungování, např. systém dodávky vody, přepravní síť, komunikační a informační systém, bankovní a finanční sektor apod.. Správním orgánem pro energetiku je Ministerstvo průmyslu a obchodu [10][19].

V energetice jsou určovány prvky těchto odvětví:

- elektřina,
- zemní plyn,
- tepelná energie,
- ropa a ropné deriváty.

Pro teroristy je energetická soustava jedním z nejsnazších cílů. Cílem je poškodit systém dodávky energie pro obyvatele demokratického státu a poškodit jeho plynulý chod. Samozřejmě spousta hlavních systémů má zabudovaný záložní zdroj, ale i ten má stanovenou dodávku energie [10][19].

1.5.3. Ochrana kritické infrastruktury

Základem ochrany kritické infrastruktury je identifikace jejích nejdůležitějších prvků a zajištění jejich ochrany. V principu nelze systémově chránit všechny prvky, ale jen ty nejdůležitější. Současně je nezbytné mít připravena opatření k řešení problémů, spojených s jejich výpadky. Pro celý proces ochrany kritické infrastruktury je důležité stanovit, do jaké míry jsou jednotlivé vybrané prvky kritické infrastruktury chráněny a jaké klady a nedostatky v dané oblasti existují. Toto je cílem hodnocení odolnosti prvku kritické infrastruktury.

V sektoru energetiky se jedná o zajištění takových dodávek, které umožní cílovým uživatelům, přežít tento „krizový stav“ bez újmy na zdraví.

Je nezbytné si uvědomit, že elektřina, oproti jiným druhům energie, je mnohem zranitelnější. Tuto zranitelnost lze nejlépe ilustrovat např. na události jako je přerušení dodávky ruského plynu přes Ukrajinu do EU. U potrubního zásobování zemním plynem, ropou, teplem (i vodou) nevede nerovnováha zdrojů a spotřeby k okamžitému přerušení dodávky. Potrubní systémy mohou pracovat i s nižším tlakem a při přerušení dodávky může být po určitou dobu zajištěna dodávka ze zásobníků. Život v území se nezastavuje a je čas a prostor na politická jednání, která mohou krizi vyřešit v řádu dnů či maximálně týdnů. Česká republika má vybudovány zásobníky ropy a ropných produktů i zásobníky zemního plynu, a proto je schopna přečkat takovou krizi bez omezení dodávek. Naproti tomu, pokud dojde k nerovnováze výroby a spotřeby v zásobování elektřinou a tato rovnováha není okamžitě odstraněna, dojde k rozpadu provozu soustavy během několika sekund – nastane blackout. Elektřina je vzhledem ke své fyzikální podstatě ve velkém měřítku zatím prakticky neskladovatelná.

Důležitost postavení elektrické energie, resp. celé oblasti elektroenergetiky, dokládá i její zařazení mezi odvětví kritické infrastruktury v souladu s nařízením vlády č. 432/2010 Sb., o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury v platném znění. Současně se jedná bezesporu o „nejkritičtější“ segment ze všech, jelikož jeho fungování umožňuje činnost ostatní nejen kritické, ale i „nekritické“ infrastruktury [7].

V elektroenergetice, na rozdíl od jiných druhů energie dostatečný záložní systém neexistuje. Při hrozbách jako je extrémní vývoj počasí, úmyslné činy, selhání lidského činitele apod., jsou spotřebitelé v postižených oblastech zcela odříznuti od dodávek elektřiny i přesto, že by pro přežití postačovalo mnohem menší množství elektřiny, než jsou potřeby v normálním provozu. Tato praxe je přijatelná pokud nepředpokládáme, že by krizový stav výpadků elektřiny velkého rozsahu (blackout) trval déle než 24 hodin. Po této době začínají značné problémy prakticky u všech spotřebitelů a život společnosti je značně narušen. Ukazuje se, že pokud by bylo možné v postižené oblasti zajistit alespoň 30 % obvykle požadovaného elektrického výkonu, společnost by i déletrvající výpadek dodávek mohla překonat bez větších problémů. Systém zajištění nouzového zásobování elektřinou pomocí místních zdrojů elektřiny (městských tepláren) proto vyžaduje schopnost sítě regulovat spotřebu v reálném čase tak, aby byly zásobovány objekty kritické infrastruktury a aby i všichni spotřebitelé dostali bezpečnostní minimum [6].

Jednou z možností zajištění nezbytné dodávky elektřiny je např. vzniku veřejných ostrovních provozů, které by v případě krizové situace zjistily nouzové zásobování nejen prvků kritické infrastruktury z místních zdrojů, zejména z veřejných tepláren, napojených do distribučních

soustav. Tak se z blackoutu stane „grayout“, zajišťující nezbytné množství elektřiny a umožňující zachovat požadované funkce jednotlivých prvků [6].

1.6. Management ochrany prvků kritické infrastruktury

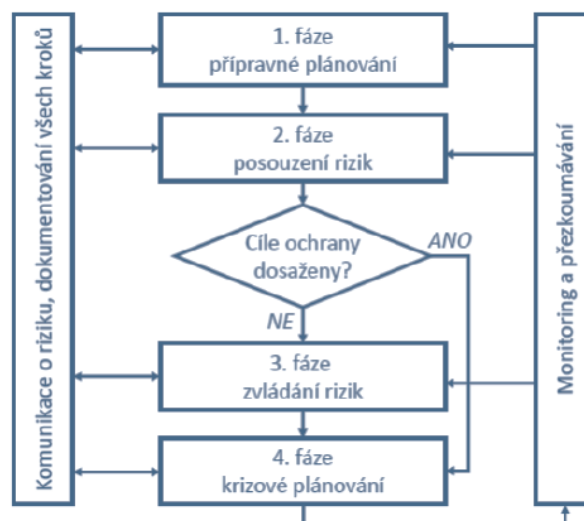
Cílem ochrany kritické infrastruktury je zajištění jejího fungování a zavedení opatření na snížení rizika narušení nebo selhání KI. Ochrana KI je založena na managementu rizik a krizovém managementu. Při posuzování prvků KI je důležité znát a umět hodnotit rizika, která mohou na prvek působit a umět je zvládat.

U prvků kritické infrastruktury se hodnotí rizika vycházejí z analýzy rizik, která mají vliv na tyto prvky. Dále se hodnotí jejich resilience, tedy jak připravené a resilientní prvky jsou, za jakou dobu jsou schopné obnovit svou funkci a adaptovat se na podobné nežádoucí události. Třetím krokem je jejich zabezpečení. Pro hrozící rizika jsou navržena opatření na jejich zvládnutí a jsou aplikována preventivní opatření. Pro zabezpečení prvků KI a jejich ochranu je důležité posilovat jejich resilienci (viz Obrázek 5) [1].



Obrázek 5 Proces managementu ochrany prvku KI (Řehák et al., 2018c)

Celý koncept ochrany kritické infrastruktury (viz Obrázek 6) je založen na přípravném plánování k zavedení managementu rizik a krizového řízení (fáze 1), posouzení rizik (fáze 2), zvládnutí rizik formou preventivních opatření (fáze 3), výstavbě systému krizového managementu (fáze 4), neustálé komunikaci o rizicích a dokumentování všech kroků, průběžném monitoringu a přezkoumávání.



Obrázek 6 Koncept ochrany kritické infrastruktury (Řehák, 2019)

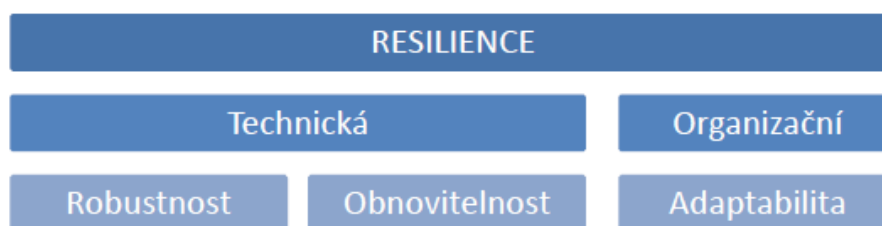
Existuje několik typů rizik, ať už ze strany člověka, přírody nebo organizace. Prvky kritické infrastruktury je nutné proti rizikům chránit.

Resilience je dynamická vlastnost, díky které je kritická infrastruktura schopna zachovat funkčnost dodávek základních služeb, a to prostřednictvím absorpce negativních účinků mimořádné události či krizové situace, rychlé obnovy do normálního stavu za současné adaptace na stávající i nové podmínky, mající vliv na zlepšení jejich schopností účinně reagovat na další negativní události.

Působením mimořádných událostí, krizových situací a jiných nežádoucích událostí dochází k poklesu resilience, proto je nezbytné ji opětovně posilovat. Proces posilování resilience není však přesně definován. V Evropě, stejně tak ani v České republice zatím nejsou navrženy žádné postupy a metody, kterými by se resilience jednotně hodnotila ani návrhy na její komplexní posilování.

Fungování kritické infrastruktury je klíčovým předpokladem pro zabezpečení základních funkcí státu a lidských potřeb. Proto se státy snaží chránit je před působením negativních vlivů a dopady nežádoucích událostí. Každá taková událost může ovlivnit fungování prvků kritické infrastruktury a narušit jeho resilienci. Základem ochrany kritické infrastruktury je posilování resilience. Resilience vyjadřuje pružnou odolnost prvku. Je to schopnost absorbovat účinky nežádoucích událostí, rychle obnovit své funkce na požadovaný výkon a přizpůsobit se na stále se opakující nežádoucí události.

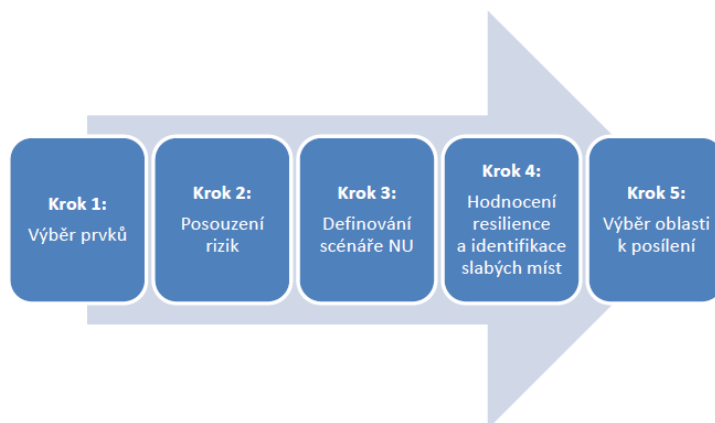
Posilování resilience kritické infrastruktury je náročný proces, který vyžaduje jasně definované funkční podmínky. Základem je vymezení a vnímání faktorů, které determinují resilienci kritické infrastruktury. Při posilování resilience jde tedy o zvyšování úrovně mnoha faktorů, kterými je resilience determinována. Tyto faktory se mohou dělit do oblastí technické resilience a resilience organizační. Mezi technickou resiliencí lze zařadit robustnost a obnovitelnost. Organizační resiliencí se rozumí adaptabilita, tedy schopnost přizpůsobit se a připravit se na stále se opakující nežádoucí událost (Obrázek 7).



Obrázek 7 Rozdělení resilience (Řehák et al., 2018c)

1.7. Postup posilování resilience

Poslední otázkou, kterou je v problematice ochrany kritické infrastruktury potřeba řešit je možnost posilování její resilienci. Tato otázka v sobě zahrnuje celé spektrum již vyřešených úkolů. Aby mohl být komplexně definován postup k posilování resilience kritické infrastruktury, je nezbytné vědět odpovědi na to, co bude předmětem ochrany, kde a v jakých oblastech a také jakým způsobem.



Obrázek 8 Postup posilování resilience v systému kritické infrastruktury

Aby bylo možné resilienci posilovat, je nutné vybrat konkrétní nežádoucí událost, která na konkrétní vybraný prvek působí. Pomocí analýzy rizik se vyberou slabá místa v resilienci, která budou následně posilována. Posilování resilience je založeno na zvyšování úrovně faktorů, kterými je determinována. Může se tak jednat o změny v organizaci a implementaci nových vnitřních předpisů, bezpečnostní opatření prvku, zlepšení strukturálních a výkonových parametrů prvků nebo zlepšení jedné z oblastí technické resilience.

1.8. Strategie ČR pro hrozbu přerušení dodávek strategických surovin nebo energie

Snaha o udržení stálých dodávek v oblasti energetiky je jedním z hlavních bodů ochrany kritické infrastruktury. Tato ochrana kritické infrastruktury a strategických podniků, zejména tedy v odvětví energetiky, která zahrnuje především odvětví elektřiny, zemního plynu, ropy a tepelné energie vyžaduje [6]:

- zvyšování ochrany a odolnosti prvků národní a evropské kritické infrastruktury,
- spolupráci s vlastníky či provozovateli prvků kritické infrastruktury,
- zachování kontroly nad kritickou infrastrukturou dosud patřící státu a nesnižování vlivu a kontroly státu ve strategických společnostech působících v jednotlivých oblastech kritické infrastruktury.

Hrozba přerušení dodávek strategických surovin či energie potom stanovuje prioritu vlády vytvářet předpoklady pro diverzifikované, tedy rozrůzněné dodávky strategických surovin a v domácím prostředí pak předpoklady pro stabilní dodávky elektrické energie a pro tvorbu rezerv strategických surovin. Rostoucí význam má potom i oblast potravinové bezpečnosti a zajištění přístupu ke zdrojům vody. [6]

1.9. Způsoby zajištění energetické a surovinové bezpečnosti v ČR

Bezpečnostní strategie ČR vydána v roce 2015 definuje několik způsobů, kterými se ČR snaží zajistit energetickou a surovinovou bezpečnost státu. Jsou to [37]:

- Snaha o zajištění maximální možné diverzifikace teritorií a přepravní infrastruktury, ze kterých jsou strategické suroviny dováženy s důrazem na uchování tranzitního postavení ČR.
- Snaha ČR o přednostní využívání domácích surovinových zdrojů, včetně vytváření určitého prostoru pro jejich vyhledávání a územní ochranu. Cílem je nedovolit možné vychýlení domácího energetického mixu ve prospěch surovin, na jejichž dovozu je ČR závislá. Udržuje rezervy strategických surovin, jejichž primárními zdroji ČR nedisponuje nebo disponuje pouze v omezené míře, včetně účinného systému vytváření zásob čerstvého jaderného paliva držení provozovatelem.
- Snaha o zajištění ochrany energetické infrastruktury, kterou se rozumí ropovody, plynovody, rozvodné sítě a jaderné elektrárny. Tuto infrastrukturu se snaží budovat s předvídatostí a dostatečným časovým předstihem.
- Snaha o zajištění stability v oblasti elektroenergetiky jak z hlediska zdrojového, tak i přenosového s důrazem na zajištění dostatečné a udržitelné domácí produkce, dále soustřeďuje pozornost na vybudování tzv. ostrovních provozů, které jsou schopny zásobit elektrickou energií v případě celoplošného výpadku. Dále udržení dostatečné výše regulačního výkonu a zkvalitnění právního rámce pro zajištění bezpečnosti a kontinuity provozu prvků energetické infrastruktury a také minimalizace negativních faktorů majících vliv na českou přenosovou soustavu.
- Snaha o zajištění dostatečné surovinové základny v oblasti zásobování obyvatelstva teplem, samotnou modernizaci stávajících provozů systému centrálního vytápění a zajištění možnosti krizového přechodu na alternativní druhy paliva u těchto provozů.
- Snaha o nesnižování vlivu a kontroly státu ve strategických společnostech, které působí v oblasti energetiky. Dále snaha o neposilování vlivu těchto subjektů, zemí, či regionů, na nichž je ČR v energetické oblasti již nyní dominantně závislá.
- Snaha o efektivní spolupráci v oblasti energetické a surovinové bezpečnosti s energetickými a těžebními společnostmi, ať soukromými či s majetkovým podílem státu.
- Snaha o podporu investic do vědy, výzkumu a rozvoje lidských zdrojů v energetickém sektoru.

S ohledem na pěstování energeticky využitelných plodin, které je nyní pro naši republiku velice významné, potom ČR vytváří podmínky k pěstování komodit pro toto energetické využití tak, aby nebyla ohrožena potravinová bezpečnost země. ČR se dále snaží udržovat přiměřené zásoby strategicky významných zemědělských a potravinářských komodit. ČR také věnuje velkou pozornost strategickým zásobám podzemní vody pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou a také zdrojům povrchové vody [37].

ČR aktivně prosazuje své zájmy v oblasti energetické a surovinové bezpečnosti v rámci mezinárodních organizací, zejména EU a NATO, specializovaných agentur a rozvíjí konkrétní projekty v bilaterálních vztazích. ČR podporuje vzájemně výhodné ekonomické vztahy se surovinově vybavenými státy, včetně využití rozvojové spolupráce [37].

1.10. Budoucí potenciál

Strategie EU v energetice kladla velký důraz na bezpečnost dodávek a spojila ji s řádným fungováním jednotného trhu a také s podporou obnovitelných zdrojů energie a režimů energetické účinnosti, které zvyšují energetickou bezpečnost snížením závislosti na dovážených fosilních palivech. Zajištění bezpečnosti dodávek vyžaduje nepřetržité úsilí ze strany EU a jejích členských států, které zahrnuje pečlivou pozornost věnovanou spolehlivosti dodavatelů ze třetích zemí, posuzování toho, jak mohou nové trasy dodávek (nebo uzavření starých tras) ovlivnit energetickou bezpečnost, ověřování toho, zda jsou energetické dohody s třetími zeměmi v souladu s cíli EU, a zajišťování toho, aby vnitrostátní energetické volby neměly negativní dopad na bezpečnost dodávek na regionální úrovni. Bezpečnost dodávek v EU musí být zachována i v průběhu komplikované transformace energetiky z fosilních paliv směrem k nízkouhlíkovým a obnovitelným zdrojům energie. To je obzvláště důležité, pokud má EU naplnit ambiciózní cíl Pařížské dohody, kterým je udržet celosvětový nárůst teploty pod 1,5 °C do roku 2050 [4].

K zajištění bezpečnosti dodávek energií, může přispívat rozvoj konceptu decentralizace, včetně vývoje v oblasti vodíkových technologií a bateriových uložení.

2. Nový koncept decentralizace na bázi využití obnovitelných zdrojů

Výroba elektřiny se decentralizuje, postupně se využívají nové technologie, například chytré sítě. Lidé se zajímají o energetickou soběstačnost. A na tyto trendy musí reagovat i tradiční dodavatelé. Pod pojem decentralizace tedy patří rozšiřování mikrozdrojů v rodinných domech stejně jako energetické programy velkých měst či regionů [33].

K typickým decentralizovaným zdrojům vhodným pro malé podniky a domácnosti patří fotovoltaické elektrárny, kogenerační jednotky, větrné elektrárny, malé vodní elektrárny a bioplynové stanice. Nejvyšší potenciál však lze předpokládat na poli malých FVE a mikrokogeneračních zdrojů (výkony v řádu do 50 kW) [31].

Decentralizované zdroje mají význam z hlediska energetické bezpečnosti. Vhodně provozované distribuované zdroje elektrické energie mohou zvyšovat spolehlivost dodávek tím, že v případě výpadku nadřazené soustavy mohou fungovat v ostrovním provozu a zajišťovat energii pro svůj vlastní provoz, případně pro spotřebitele v okolí. Možnost ostrovního provozu má velký význam především pro průmyslové podniky s nepřetržitým provozem.

Při zvýšeném podílu obnovitelných zdrojů dochází ke zvýšení bezpečnosti vlivem menší závislosti na importu a diverzifikaci portfolia energetických zdrojů, některé obnovitelné zdroje však vykazují vysokou míru kolísavosti výkonu. Plynové technologie mají výborné vlastnosti z hlediska regulovatelnosti výkonu a jsou vhodné i pro „starty ze tmy“, nevýhodou plynu je téměř stoprocentní závislost české republiky na importu zemního plynu.

Decentralizace snižuje ztráty v přenosové a distribuční soustavě, snižuje se také možnost přetížení přenosové soustavy. Při výrobě ve velkých systémových elektrárnách jsou ztráty v rozvodech v průměru cca 7,5 % [34].

2.1. Důvody pro postupný přechod k decentralizovanému modelu

Centralizovaný systém energetiky má řadu nevýhod, které ohrožují jeho stabilitu. Decentralizace může naopak některé hrozby omezit nebo eliminovat [33].

- **Změna struktury zdrojů**

Model centralizované energetiky je jednoznačně uzpůsoben pro využívání fosilních paliv a dobře vyhovuje rovněž jaderným a velkým vodním elektrárnám. Využívání těchto zdrojů je ovšem limitováno omezenými geologickými zásobami surovin a negativními dopady na životní prostředí. Proto v posledních letech roste význam obnovitelných zdrojů, které jsou ze své podstaty rozptýlené a jejich využívání lepe vyhovují modely s nižší mírou centralizace.

- **Vysoká zranitelnost centralizovaných systémů při mimořádných událostech**

Slabou stránkou centralizovaných systémů je riziko výpadku důležitého místa v systému; výpadek přitom může postihnout vysoký počet spotřebitelů zároveň. Pokud vichřice poškodí elektrické vedení, zůstanou dočasně bez proudu tisíce lidí. V případě elektřiny může být hrozbou i neočekávaný výpadek elektrárny či nepředpokládaný nárůst odběru, které mohou mít za následek rozsáhlé přerušování dodávky. Fatální následky by pak mohl mít koordinovaný

teroristicky útok na energetickou infrastrukturu (elektrická síť, plynovod). Postihne-li havárie decentralizovaný systém, počet postižených je podstatně menší.

- **Dovozní závislost, cenová nejistota a politická nestabilita**

Centralizovaná energetika je konkrétně v Evropě výrazně závislá na dovozech ropy, plynu, uhlí a jaderného paliva. S tím souvisí dvojí riziko. Odběratel se stává do určité míry „rukojmím“ svých dodavatelů, kteří mohou omezení dodávek využívat k politickému nátlaku. Druhým rizikem je omezena možnost odběratele ovlivnit cenu dodávek. Zejména v případě rostoucí poptávky v různých částech světa se může cena energetických zdrojů vyšplhat k velmi vysokým hodnotám, přičemž spotřebitel nemá jinou šanci než cenu zaplatit. Decentralizovaný model postavený na lokálních zdrojích je pochopitelně méně citlivý na politický vývoj, stejně jako na výkyvy trhu s ropou.

- **Posilování místních ekonomik**

Při srovnání s centralizovanými energetickými systémy hovoří ve prospěch rozvoje decentralizovaných zdrojů nejen výše uvedené důvody, ale také ekonomické a sociální přínosy. Jednotlivé praktické zkušenosti s decentralizací fyzických zdrojů i struktury vlastníků ukázaly jednoznačné výhody pro ekonomiku regionu, ve kterém jsou decentralizované zdroje provozovány. Spotřebitelé v těchto případech neplatí za energii vzdálené, často zahraniční společnosti, ale místnímu subjektu, který mohou eventuálně spoluvlastnit. Peníze vyplacené za dodávku energie tak zůstávají v regionu a podporují jeho rozvoj.

- **Nová pracovní místa**

Dalším významným přínosem decentralizovaných energetických modelů je pozitivní dopad na zaměstnanost. Větší počet výrobních jednotek vede k vytvoření vyššího počtu pracovních příležitostí, které se rovněž přesouvají do regionů s vyšší nezaměstnaností. Totéž platí o lokálním zásobování palivy, které zvyšuje poptávku po pracovní síle zejména v zemědělství.

- **Vývoj cen**

Zejména v případě decentralizovaného využití obnovitelných zdrojů může uživatel významně omezit riziko rostoucích cen fosilních paliv. Počáteční investice bývá v těchto případech značná, ovšem provozní náklady minimální. Například v případě instalace solárního systému na ohřev vody zaplatí uživatel náklady na jeho pořízení a montáž na základě smlouvy s vybraným dodavatelem. Za energii dodanou systémem uživatel neplatí, což znamená, že omezil riziko dopadů zdražování. Odběratel závislý na centrálních zdrojích nemůže předvídat ani ovlivňovat vývoj ceny dodané energie [33].

2.2. Technologie vhodné pro decentralizovanou výrobu energie

V současnosti roste zájem průmyslových podniků i majitelů nemovitosti o pořízení vlastního energetického zdroje. Důvodem není nespolehlivost dodávek nebo technické problémy se sítěmi, ale rostoucí ceny plynu a elektřiny. V kombinaci s podporou výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů a kogenerace roste ekonomická zajímavost takové investice.

Dodávka tepla je v současné době poměrně decentralizovaná. V ČR funguje asi 2000 větších centrálních zdrojů tepla (teplárna, výtopna). Zejména ve větších sídlech má ovšem CZT (centrální zásobování teplem) pozitivní dopad, neboť u velkého zdroje lze účinněji snížit emise

než v případě velkého počtu zdrojů individuálních. Odpadá také zátěž spojená s dopravou paliva k jednotlivým objektům, individuální skladování atd. Významnou výhodou je také lepší kontrola – je známo, že špatně seřízený kotel v rodinném domku může být co se týče emisí horší než spalovna odpadů [33].

2.2.1 Suchá biomasa

Z hlediska energetického využití dělíme biomasu na suchou, tj. vhodnou k přímému spalování, a mokrou, vhodnou pro bioplynové technologie. Z důvodu optimálního využití energie v palivu i kvůli ekonomice provozu by výroba elektřiny z biomasy měla být vždy doprovázena produkcí tepla. V praxi se osvědčil teplárenský provoz, kdy teplo odebírá systém CZT pro vytápění domů a elektřinu provozovatel dodává do veřejné sítě. Návrh velikosti zařízení by tedy primárně měl vycházet z možnosti uplatnění vyrobeného tepla. Teplo lze využít i pro sušení vstupní biomasy, což následně zvyšuje účinnost celého zařízení [33].

Pro výrobu elektřiny z biomasy lze použít například tyto technologie:

- Parní turbíny, případně parní pístový motor. Jedná se o ekvivalent „konvenční“ parní elektrárny, páru ovšem získáváme v kotli spalujícím dřevo nebo jinou biomasu. V praxi lze použít i kombinaci s fosilními palivy formou spolu spalování (biomasa se smíchá s uhlím) nebo paralelního spalování (použití více kotlů na různé druhy paliv). Oba uvedené postupy lze výhodně využít pro nasazení v existujících zdrojích, původně navržených na spalování fosilních paliv. Parní turbíny se hodí pro větší výkony (od 1 do 500 MWt), parní stroj (pístový motor) naopak pro malá zařízení (od 0,5 do 10 MWt).
- ORC (Organic Rankine Cycle) na rozdíl od parní technologie používá namísto vody, resp. vodní páry, jako pracovní látku v primárním okruhu směs organických sloučenin (silikonový olej). Olej se i za vysokých teplot (např. 300 °C) udržuje v kapalném stavu při značně nižší tlaku než voda.
- Spalovací motory s generátorem, které používají jako palivo dřevoplyn. Dřevoplyn lze získat různými cestami. Dnes se používá nejčastěji zplyňování teplem, kdy se biomasa zahřívá bez přístupu vzduchu a rozkládá se na dehet, olejová paliva a plyny (H₂, CO) při současném vzniku kyslíku. Dřevoplyn se následně spaluje v upraveném pístovém motoru, který pohání generátor. Kvalita dřevoplynu závisí na vstupní surovině a ovlivňuje životnost motoru.
- Stirlingův motor s generátorem. V motoru tohoto typu se palivo nespaluje uvnitř válce, ale vně. V principu lze k jeho pohonu použít jakékoli palivo, tedy i levnou, málo kvalitní biomasu (ale třeba i teplo ze solárního systému). Během několika let lze čekat i komerční výrobky, s elektrickým výkonem do 10 kW, které budou alternativou k běžným kotlům pro rodinné domy. Otázkou zůstává cena a ekonomická stránka provozu.

Pokud bychom chtěli nahradit hnědé uhlí např. cíleně pěstovanými rychle rostoucími dřevinami, získáme z hektaru energeticky ekvivalent 6,5 až 9,5 tuny uhlí. Takovéto množství by stačilo pro roční vytápění nezatepleného rodinného domku. Pokud bychom

tuto biomasu spálili v konvenční tepelné elektrárně, získáme zhruba 10 tisíc kWh, což odpovídá spotřebě asi tři domácnosti [33].

Tabulka 2 Porovnání parametrů různých technologií výroby elektrické energie z biomasy

Typ teplárny	Podíl výroby elektřiny a tepla Q_{EL}/Q_{TEP} (-)	Účinnost elektrická (%)	Účinnost tepelná (%)	Účinnost celková (%)	El. výkon teplárny (MW)
S parním strojem	0,16-0,25	8-12	60-67	68-87	0,1-2
S parními turbinami	0,24-0,34	12-15	60-80	72-80	0,15-100
Se spalovacími motory	0,7-1,0	32-41	44-53	82-90	0,1-10
Se Stirlingovým motorem	0,25-0,35	12-22	50-70	62-92	0,001-0,05
Se spalovacími turbinami	0,5-0,8	23-38	36-50	68-85	2-100
Paroplynové	0,5-1,5	35-44	32-50	78-87	5-200 a více

Tabulka 3 Orientační klíčová čísla pro výhřevnost, výnosy, dobu sklizně a sklizňovou vlhkost energetické fytomasy (zdroj:VÚRV)

Plodina/termín	Výhřevnost [MJ/kg]	Vlhkost [%]	Výnos [t/ha]		
			min.	prům.	opt.
Sláma obilovin (VII X)	14	15	3	4	5
Sláma řepka (VII)	13,5	17-18	4	5	6
Energetická fytomasa - orná půda (X-XI)	14,5	18	15	20	25
Rychlerostoucí dřeviny - zem. půda (XII-II)	12	25-30	8	10	12
Energetické seno - zem. půda (VI;IX)	12	15	2	5	8
Energetické seno - horské louky (VI;IX)	12	15	2	3	4
Rychlerostoucí dřeviny - antropogenní půda (XII-II)	12	25-30	8	10	12
Jednoleté rostliny - antropogenní půda (X XI)	14,5	18	15	17,5	20
Energetické rostliny - antropogenní půda (X XII)	15	18	15	20	25

2.2.2 CZT a spalování biomasy

Dřevo, štěpky, slamu a jinou suchou biomasu lze jednoduše spalovat. Každé palivo ovšem vyžaduje jiný typ kotle. V jedné provozovně lze ovšem instalovat různé kotle pro různá paliva. Logickým důsledkem velké investice do CZT je snaha použít co nejlevnější palivo. Technologie pro spalování štěpky jsou dobře dostupné, obvykle lze spalovat i syrovou nebo mokrou štěpku, odpady z dřevovýroby atd. Dále lze využít možnost likvidace zbytků z údržby městské zeleně a podobně. Nevýhodou je dosud nepřilíživě stabilní trh se štěpkou, stavba vyššího počtu nových zdrojů zvyšuje poptávku a ceny. Řešením zde může být samostatná výroba štěpky z vlastních lesů. Štěpka vyrobená z cíleně vypěstovaných rychle rostoucích dřevin zatím není cenově konkurenceschopná.

Další možnost představuje spalování obilné slamy, i zde jsou technologie komerčně dostupné. Může být zajímavé pálit nevymlácené obilí, které se pouze poseče a slisuje do balíků. Protože nezáleží na kvalitě zrna, vychází pěstování tohoto obilí levněji než u potravinářské produkce. Množství paliva potřebné k zajištění provozu typické výtopny uvádíme v následující tabulce [33].

Tabulka 4 Spotřeba paliva pro dodávku 30 tis. GJ (cca 1000 bytů)

	výhřevnost		spotřeba paliva		plocha pro pěstování (zhruba)	
hnědé uhlí	15	GJ/t	2 500	tun		
zemní plyn	33,6	GJ/tis. m ³	1 116	tis. m ³		
štěpka – dřevní odpad	14,6	GJ/t	2 568	tun		
štěpka – rychlerostoucí dřeviny	12	GJ/t	3 125	tun	313	ha
sláma obilná	15	GJ/t	2 500	tun	625	ha
obilí (sláma se zrnem)	17,5	GJ/t	2 143	tun	214	ha

2.2.3 Lokální spalování biomasy

Zejména u malých obcí, kde CZT nepřichází v úvahu, lze biomasu spalovat v individuálních kotlích či kamnech. Na trhu najdeme mnoho kotlů s výkony od 20 do 50 kW, určených pro rodinné domky.

Kotlů s výkony do 10 kW, vhodných pro moderní domy s nízkou spotřebou, nabízejí výrobci poměrně málo; obvykle musíme volit zapojení kotle s akumulací nádrží. Kotle na štěpky se vyrábějí obvykle s výkony od 50 kW, což je pro rodinný domek až desetkrát více, než by bylo potřeba.

Roste obliba pletek, které lze přikládat automaticky. Jejich cena je ve srovnání s jinými palivy vyšší, ale nabídka na českém trhu se zvyšuje a tím jsou pelety cenově i dopravně stále dostupnější. Velkou nevýhodou pletek je nutnost zajistit pro ně suchý sklad (když zvlhnou, rozpadají se), což zabírá cenný prostor v objektu. Pro nezateplený rodinný domek musíme počítat se spotřebou pletek o objemu zhruba 6 až 10 m³ za topnou sezonu [33].

2.2.4 Bioplynové technologie

Zemědělské a potravinářské odpady, biologickou složku komunálního odpadu, splašky a další biomasu, která se kvůli velkému obsahu vody nehodí pro přímé spalování, lze využít pomocí bioplynové technologie. Hmota se rozloží anaerobním rozkladem (metanovým kvašením) za vzniku bioplynu. Bioplyn obsahuje 55–80 % metanu, 20–45 % oxidu uhličitého, síru ve formě sirovodíku, dusík, vodu aj. Složení závisí na vstupní surovině a částečně na použité technologii. Získaný bioplyn lze spalovat v kogeneračních jednotkách, tedy v upravených pístových motorech, které pohánějí generátor. Využití bioplynu pomocí kogenerace se spalovací turbínou je v principu možné, ale vzhledem k velikosti běžných bioplynových zařízení se nepoužívá.

Bioplyn lze využít také pro přímé spalování v upravených kotlích na zemní plyn, může tedy tvořit i alternativu tomuto palivu. Lze ho použít i v dopravě pro pohon automobilů či autobusů. Bioplynová technologie se běžně používá v komunálních čistírnách odpadních vod [33].

2.2.5 Solární termické systémy

Využití solární energie pro ohřev vody lze realizovat i poměrně málo sofistikovanou technologií, jako je plechový sud natřený načerno. Běžné solární systémy pracují celoročně a získané teplo lze využít pro ohřev vody i pro vytápění.

V ČR dopadá na povrch za rok průměrně 1100 kWh/m² energie. Pomocí kapalinových kolektorů můžeme získat 300 - 800 kWh/m² za rok. Zisk se však v jednotlivých měsících značně liší; pro letní přebytky často není využití. Pro reálné odhady hrubé výroby energie v průměrných solárních zařízeních lze v podmínkách ČR uvažovat průměrnou roční výrobu 380-420 kWh/m² kolektorové plochy za rok.

V poslední době se i v ČR lze setkat s velkoplošnými systémy, zejména pro ohřev vody v internátech, domovech pro seniory a jinde. Ve veřejných budovách se efektivita solárního systému snižuje termickou dezinfekcí vody. Aby se ve vodě nerozmnožily bakterie, ohřívá se celý zásobník vody např. jednou týdně na 70 °C nebo se trvale provozuje s teplotou nad 55 °C atd. To zhoršuje účinnost solárního systému, který pracuje neefektivněji s nižšími teplotami vody (pro mytí stačí voda okolo 40 °C).

Velké systémy vyžadují velký objem akumulčních nádrží. Standardní tlakové nádrže systém prodražují, proto se používají nádrže otevřené, např. z plastů nebo z betonu.

Solární systémy představují velmi vhodný zdroj pro jednotlivé rodinné domky, ale i pro bytové domy. Překážkou stále zůstává vysoká pořizovací cena. Cena tepla z termického systému se již několik let pohybuje od 1,40 až 2,50 Kč/kWh. Cena tepla např. ze zemního plynu činí 0,98 až 1,11 Kč/kWh, u elektřiny 1,40 až 2,00 Kč/kWh. V některých případech je tedy solární energie dražší než elektrický ohřev. Díky dotacím však lze cenu solárního tepla snížit [33].

2.2.6 Solární chlazení

Stále častější požadavek na letní chlazení budov lze řešit i s využitím solární energie. Takovéto systémy se dnes teprve rozvíjejí a komerčně dostupných je zatím jen málo zařízení.

Nejjednodušší je samozřejmě osadit budovu fotovoltaickými panely, které vyrobí elektřinu pro pohon kompresoru konvenčního chladicího zařízení. Tato cesta však vychází jako příliš nákladná a málo účinná.

Proto se vyvíjejí systémy, kde se místo kompresorového chlazení používá chlazení sorpční - systém je pohaněn teplem získaným ze solárních kapalinových kolektorů. Používají se vakuové trubicové kolektory, schopné dosáhnout vyšších teplot (potřebných pro chod systému). Tyto kolektory pak v létě chladí a v zimě přitápějí, teplou vodu ohřívají celoročně.

Výhodou solárního chlazení je snížení letních odběrových špiček elektřiny, na nichž má chlazení objektů významnější podíl. Přitom řada evropských elektráren musí v létě kvůli vysokým teplotám snižovat výkon. V letních měsících může v důsledku nižší poptávky po teple klesat i účinnost elektráren, které pracují v kogeneračním režimu [33].

2.2.7 Fotovoltaika

Přímá přeměna slunečního záření na elektřinu funguje na základě fotoelektrického jevu v polovodičích.

Energii vloženou do výroby fotovoltaických panelů získáme jejich provozem v našich podmínkách zhruba za šest let, přitom výrobci garantují životnost minimálně 20 let. U článků z monokrystalického a multikrystalického křemíku musíme počítat s poklesem výkonu cca o 1 % za rok, po 20 letech tak článek dosahuje 80 % nominálního výkonu. U článků z amorfního křemíku klesá účinnost v prvních letech výrazněji.

Fotovoltaická zařízení jsou vhodná pro individuální využití i pro větší (obecní či městské) projekty. Vzhledem k vysokým investičním nákladům dosahuje cena vyrobené elektřiny asi trojnásobku běžného tarifu. Díky stanoveným výkupním cenám však může být fotovoltaika ekonomicky zajímavá. V běžném modelu provozu dodává fotovoltaická elektrárna veškerou vyrobenou elektřinu do sítě, zatímco výrobce pro svou potřebu nakupuje energii z distribuční soustavy.

V případě, že fotovoltaická elektrárna dodává elektřinu do sítě, předepisuje výkupní cenu Energetický regulační úřad (www.eru.cz). Zákon garantuje, že tato cena se nezmění po dobu 20 let od uvedení do provozu.

Spotřebuje-li výrobce elektřinu z fotovoltaické elektrárny pro vlastní účely (eventuálně ji prodá třetí osobě), může dostat tzv. zelené bonusy. Současná produkce elektřiny z fotovoltaiky nedosahuje hodnot, které by zatěžovaly rozvodnou soustavu požadavkem na záložní zdroje [33].

2.2.8 Energie větru

V současnosti se až na výjimky používají větrné elektrárny (VE) s horizontální osou otáčení a třílístým rotorem. Dlouholetý výzkum i praktické zkušenosti ukázaly, že tento typ nejlépe vyhovuje z hlediska náročnosti technologie, dynamického namáhání, životnosti, účinnosti, výkonu i estetiky.

Male větrné elektrárny (do 10 kW) vhodné pro rodinné domky se dosud příliš nerozšířily. Vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům a současnému nastavení výkupních cen nepředstavují zajímavou investici. Používají se tedy spíše v ostrovních provozech, v místech, kde není k dispozici rozvodná síť. Narážíme rovněž na rozpor, že dům pro bydlení by měl stát na místě chráněném před větrem, zatímco větrná elektrárna naopak potřebuje větru co nejvíce. Postavíme-li elektrárnu na místě vzdáleném od domu, musíme počítat se zvýšenými náklady na kabelové propojení [33].

2.2.9 Energie vody

Využívání vodní energie se v současnosti příliš nerozvíjí, neboť nejlepší lokality vhodné pro stavbu MVE (malé vodní elektrárny) byly již v minulosti obsazeny. Přestože teoreticky lze najít řadu nových lokalit, mají výrazně horší hydrologické podmínky, což prodlužuje návratnost investice.

Potenciál zvýšení výroby elektřiny spočívá hlavně ve zlepšování účinnosti díky obnově stávající technologie, případně v lepším využití stávajícího množství vody.

Aktuálně přichází v úvahu:

- Využití retenčních nádrží, rybníků a jiných akumulčních nádrží s téměř konstantním spadem, kde je možnost získání vhodného tlaku a kde průtočné množství vody vykazuje malé změny, vyrovnávané retenci nádrže. Problémem může být kolísání hladiny a obecně konflikt mezi hospodářskými a ochrannými funkcemi (chov ryb, hnízdění vodního ptactva) a energetickým využitím.
- Využití vodárenských objektů vybudovaných pro účely zásobování pitnou nebo užitkovou vodou, kde lze získat téměř konstantní vysoké tlaky s průtoky bez větších změn. K dispozici jsou technologie, při jejichž využití nehrozí znečištění vody unikajícími

mazivy. Výhodně se tak může využít energie, která se dosud často maří ve škrticích armaturách. Rekonstrukce a modernizace provozovaných MVE, převážně zastaralých zařízení z dvacátých až padesátých let, jejichž účinnost je v průměru o 15 % nižší než současné moderní technologie. Pro využití nejmenších průtoků lze instalovat kromě svépomocně vyráběných vodních kol také mikroturbínu SETUR. Aplikace se hodí spíše pro ostrovní provoz, protože připojení k síti vyžaduje náročnější technické řešení. Instalovaný výkon často nepřekročí 1 kW [33].

2.3. Vize budoucnosti decentralizované energetiky

Zachování současného energetického modelu, ve kterém budou fosilní paliva jednoduše nahrazena obnovitelnými zdroji, není principiálně proveditelné. Pouze energetické využití biomasy má totiž jistou podobnost s fosilními palivy - nezávisí na časti dne, počasí a ročním období. Biomasa se nemůže stát univerzálním řešením energetického deficitu pro světovou populaci. Může však, sloužit jako akumulátor energie pro překlenutí časového období spojeného s deficitem jiné obnovitelné energie (např. slunečního záření). Podstatně větší potenciál má využití energie slunečního záření. Významnou část potenciálu lze využít v rámci centralizovaného modelu [33].

Pro optimální využití obnovitelných zdrojů o malém výkonu bude potřeba najít způsob jejich zapojení do soustavy. Lze předpokládat, že bude účelné předvídat a regulovat dodávku z obnovitelných zdrojů na regionální (městské, obecní) úrovni. Oproti dnešnímu fungování centralizované sítě patrně vznikne pozice lokálních či regionálních energetických správců, kteří budou zastupovat skupinu mikro výrobců a řídit dodávky do soustavy [33].

Koncept decentralizovaného energetického systému využívá velkého množství malých lokálních energetických jednotek pracujících na různých fyzikálních principech, z čehož vznikají různé technické problémy, které lze řešit např. prostřednictvím „virtuálních elektráren“, „backcastingu“ a „inteligentních sítí“ [32].

2.3.1. Virtuální elektrárny

Virtuální elektrárnou se obecně rozumí skupina decentralizovaných zdrojů energie, které jsou provozovány pomocí společného řídicího systému, třebaže fyzicky od sebe mohou být značně vzdáleny. Instalovaný výkon virtuální elektrárny je dan součtem výkonu jednotlivých zdrojů, které ji tvoří. Virtuální elektrárnu lze sestavit se zařízení využívajících obnovitelné i neobnovitelné zdroje, její součásti mohou být kogenerační jednotky na zemní plyn, bioplynové stanice, větrné elektrárny, malé vodní elektrárny, fotovoltaické elektrárny apod [33].

Podle nastavení řídicího systému mohou virtuální elektrárny sloužit jak v základním, tak i ve špičkovém, případně záložním režimu. Záleží pochopitelně rovněž na struktuře a velikosti jednotlivých zdrojů. Při současné praxi provozování sítě lze s výhodou využít kapacitu vhodně sestavené elektrárny pro pokrývání špičkového výkonu - řídicí systém umožní nasazení takového výkonu, který odpovídá aktuálním potřebám sítě.

Dalším významným rysem virtuální elektrárny je možnost využití potenciálu uspoř při jejím sestavování. Ve chvíli, kdy vznikne potřeba nového zdroje o určitém instalovaném výkonu,

může provozovatel virtuální elektrárny tuto poptávku uspokojit sestavou decentralizovaných jednotek doplněnou o zaručené snížení spotřeby dosažené v důsledku cílených opatření.

Výhody virtuální elektrárny by se ovšem naplno projevily ve chvíli, kdy by provozovatele sítí začali využívat koncept řízení poptávky. Vzhledem k rozvoji informačních technologií se otevírají nové možnosti, jak přizpůsobit průběh spotřeby charakteru převažujících zdrojů.

Budoucnost by měla patřit efektivnímu řízení dodávky elektřiny založenému na výměně informací mezi dodavatelem a spotřebitelem. Jedním z efektů pak může být využití efektivních technologií při výrobě spotřebičů [33].

Hlavním cílem sestavení virtuální elektrárny je zajistit maximálně efektivní výrobu elektřiny v čase a místě spotřeby. Zásadní výhodou virtuální elektrárny je vysoká odolnost proti neplánovanému výpadku. Vzhledem k využití zdrojů rozptýlených na větším území lze nasazením virtuální elektrárny rovněž omezit ztráty v sítích [33].

2.2.9.1 Různé typy virtuálních elektráren

1. Sít malých kogeneračních zdrojů

Jako o jednom z potenciálních „mikrozdrojů“ pro virtuální elektrárny tohoto typu se uvažuje o možnosti výroby elektřiny v domovních kotlích pomocí Stylingová motoru. Jeho tepelný výměník je zaveden do domovního kotle (někteří výrobci kotlů na dřevo již o této kombinaci reálně uvažují) a na 10 kW tepelného výkonu kotle je schopen dodávat až 3 kW elektrického výkonu. Toto řešení umožňuje kombinovanou výrobu tepla a elektřiny s využitím větší části zbytkového tepla, nicméně přesto spotřeba paliva o něco vzroste. Kritickými parametry pro rozšíření tohoto systému jsou zejména cena Stylingová motoru, doba jeho využití (pouze v topné sezoně a v cyklech odpovídajících potřebě tepla v objektu), problematické mohou být také zvyklosti majitelů kotlů a účinnost celého systému [33].

2. Bioplynové stanice v ČR

Technické parametry moderních bioplynových stanic ukazují, že se jedná o zdroje střední velikosti, vzhledem k zásobování palivem přirozeně decentralizované.

Dobře se osvědčily bioplynové stanice s elektrickým výkonem 0,5-1,0 MW elektrického výkonu, který je zajištěn spolehlivými motorovými kogeneračními jednotkami. Výroba elektrické energie se pohybuje v případě dobrého řízení fermentoru kolem 8000 hodin nominálního výkonu za rok, optimálně lze dosáhnout až 8500 provozních hodin. To představuje roční výrobu 4 až 8 GWh elektrické energie. Tepelný výkon se z 20-30 % využívá pro ohřev fermentoru, zbytek tepla lze při této velikosti stanice odvádět k vytápění blízkých domů, zásobování drobných výrobních (např. sušárny ovoce) nebo male průmyslové zóny. Bioplynová stanice se tak stává ideální jednotkou pro virtuální elektrárnu.

Jednotkové investiční náklady bioplynových stanic se pohybují na úrovni srovnatelné s novou nadkritickou uhelnou elektrárnou. Provozní náklady má bioplynová stanice dosud vyšší, a to z důvodu náročnosti získávání paliva. Řada faktorů, mezi něž patří stálý růst cen fosilních paliv, vliv ekologické daňové reformy a obchodování s emisemi skleníkových plynů, ovšem nasvědčuje tomu, že v příštích letech porostou provozní náklady uhelných elektráren podstatně rychleji. Vedle ekonomického srovnání ovšem nelze přehlížet další výhody využívání

bioplynu – čistý provoz bez produkce skleníkových plynů, pomoc při údržbě krajiny a zcela domácí, na dovozu nezávislý zdroj energie.

3. Fotovoltaické elektrárny

Výrobu elektřiny pomocí fotovoltaických panelů lze výhodně spojit například s údržbou volných méně úrodných pozemků pasením ovcí, elektrárny mohou vyrůstat na méně přístupných pozemcích – ve svazích, na rekultivovaných skládkách, výsypkách apod.

2.3.2. Backcasting – metoda plánování

Zahrnutí decentralizovaných jednotek, virtuálních elektráren a zejména pak konceptu úspor jako zdroje do energetických strategií stojí v cestě zaběhaná praxe. Běžný postup energetického plánování se zakládá na extrapolaci dosavadního trendu spotřeby a zajištění zdrojů pro její pokrytí. Pro efektivní zahrnutí potenciálu uspoř je ovšem vhodnější přístup, kdy úroveň budoucí spotřeby předem určíme a následně zajistíme nástroje pro dosažení žádoucího stavu. Při podobném plánování lze s výhodou využít metodu backcastingu. Backcasting je pojem, pro který nemá čeština vhodný výraz. Opisem jej lze trochu nadneseně vyložit jako „předpovídání na základě budoucí zkušenosti“.

Backcasting se od plánování v běžném slova smyslu liší tím, že místo rozhodování na základě odhadů pravděpodobného vývoje uplatňuje obrácený a mnohem aktivnější postup. Výhodou nejsou „realistické odhady“ na základě dnešních měřítek a vývojových trendů, ale ambiciózní a inspirativní vize žádoucího vývoje v budoucnosti. V podstatě se jedná o vytvoření představy budoucnosti, „jakou bychom chtěli mít“.

V případě, že by stát a všechny subjekty, které rozhodují o budoucím zásobování energií, začaly při plánování postupovat metodou backcastingu, musely by si na počátku položit základní otázku, jak bude vypadat struktura a velikost spotřeby v době, pro kterou se plánuje provoz daného investičního záměru. Jak se budou vyvíjet technologie, který druh průmyslu má šanci na přežití v příštích 20–30 letech, jak se budou vyvíjet preference obyvatel, jaký bude demografický vývoj atd. Totéž by měla činit i strategická oddělení energetických firem. Současně si však musejí položit otázku, co vše je třeba udělat pro to, aby tento cílový stav nastal.

2.3.3. Smart Grids

Chytré sítě (nazývané také „inteligentní sítě“, anglicky „smart grids“) jsou elektrické sítě schopné efektivně propojit chování a akce všech uživatelů, kteří jsou k nim připojeni. Smart grid se skládá z přenosových a distribučních soustav, které jsou vybaveny jistým stupněm inteligence – tedy schopností automatizace, komunikace a regulace.

Chytré sítě propojují výrobce elektřiny, provozovatele sítí, obchodníky s elektřinou, spotřebitele i prosumery (samospotřebitel)¹ a vytvářejí systém, v němž mohou jednotliví účastníci vzájemně komunikovat a spolupracovat.

¹ „prosumer“ (producer + consumer), Prosumerem (nebo samospotřebitelem) se rozumí spotřebitel nebo skupina spotřebitelů, kteří spotřebovávají, skladují nebo prodávají energii z obnovitelných zdrojů, jež se vyrábí v jejich prostorech. Tyto činnosti přitom nesmí představovat hlavní obchodní nebo profesní činnost daného spotřebitele.

Výhodou takové komunikace a práce s daty je ekonomicky efektivní využívání energetické soustavy, které vede k nižším ztrátám a zvyšuje energetickou účinnost. Spotřebitelům například umožňuje snadněji sledovat svou spotřebu a také využívat elektřinu ve chvílích, kdy je to nejvýhodnější.

Zavádění chytrých sítí je nezbytné pro zajištění spolehlivého provozu elektrizační soustavy, a to především vzhledem k rostoucímu podílu zdrojů, jejichž výrobu lze dopředu hůře odhadovat, jako jsou například sluneční a větrné elektrárny. Předpokládá se vzrůstající podíl výroby elektřiny v malých zdrojích. Proto bude nutné změnit dosavadní systém řízení sítí, tak aby bylo možné sladit objem vyrobené a spotřebované elektřiny pro zachování stability.

Na zajišťování rovnováhy v soustavě se například bude více podílet i strana spotřeby, která může díky inteligentním technologiím poskytovat provozovateli sítě potřebnou flexibilitu. A zatímco v současné době se řízení rovnováhy kryje nákupem rezervního výkonu z velkých klasických zdrojů, v budoucnu se tohoto procesu budou účastnit i decentrální zdroje. Díky tomu budou moci hrát jednotliví účastníci trhu aktivnější roli a mohou vznikat nové obchodní modely [35].

2.4. Kyberbezpečnost a ochrana dat

Bez informačních technologií se energetika neobejde ani dnes, a do budoucna bude její provázanost s ICT ještě posilovat. To s sebou přirozeně nese riziko kybernetických útoků, které jsou v případě energetické infrastruktury obzvlášť nebezpečné tím, že prostřednictvím aktivity ve virtuálním prostoru mohou přímo ovlivnit dění ve fyzickém světě.

Kybernetickým útokem se v energetice rozumí situace, kdy se hackeři pokusí získat přístup ke klíčovým informacím nebo prvkům infrastruktury, jako jsou elektrárny, rozvodné sítě nebo řídicí centra. Cílem je narušit jejich funkci nebo je ovládnout. Útočníky přitom mohou být jednotlivci, ale i organizované skupiny teroristů nebo aktivistů i vládní organizace nebo armáda.

S nástupem chytrých technologií do domácností se hrozba kybernetického útoku přesouvá i do této oblasti. Podobně jako je v extrémním případě možné převzít kontrolu nad elektrárnou, je možné nabourat se do řídicího systému domácnosti a ovládnout její spotřebiče. Riziko ovšem představuje i možné zneužití osobních dat, která spotřebitel díky chytrým elektroměrům sdílí s energetickými společnostmi. Z těchto údajů lze totiž o životě v domácnosti vyčíst řadu informací [35].

3. Využití bateriových úložišť

Bateriová úložiště jsou nedílnou součástí transformace energetického sektoru a pokračujícího trendu k decentralizaci výroby energie. Bateriová úložiště v kombinaci s obnovitelnými zdroji energie vytvoří stabilní energetický zdroj s řízeným průběhem výdeje energie. V době přebytku energie dojde k její akumulaci a v okamžiku energetických špiček nastane kontrolovaný výdej. Velkokapacitní bateriová úložiště budou sloužit jako vyrovnávací zdroj, který bude schopen v řádu vteřin reagovat na požadavky dispečerů přenosové soustavy.

Připojené baterie tak rozmělní velké rozdíly mezi špičkou odběru a úbytkem odběru v distribuční soustavě.

Naše legislativa s bateriemi – jako s možným zdrojem dodávky energie – zatím nepočítá. V akumulaci energie je přitom budoucnost moderní energetiky.

Akumulace elektrické energie má velký potenciál. Pokud by měl svět dostát svých závazků v přechodu na nízkouhlíkové technologie, je třeba vybudovat dalších 20 gigawattů do roku 2025. A podle nedávno zveřejněné studie Mezinárodní energetické agentury (IEA) poroste kapacita úložišť elektrické energie v následujících deseti letech téměř dvacetinásobně [29].

Rozvoj obnovitelných zdrojů připravuje příležitosti pro další řešení v oblasti moderní energetiky. Baterie mohou v síti nabídnout vykrývání produkce solárních nebo větrných elektráren, ale také pracovat v podobném režimu jako vodní elektrárny.

Baterie pro ukládání energie mohou být decentralizované systémy s instalovanou kapacitou desítek či stovek kilowatthodin pro domácnosti nebo firmy. Akumulace energie z obnovitelných zdrojů zvýší jejich energetickou nezávislost.

Dnes jsou na trhu dostupné takzvané hybridní solární elektrárny, které spojují fotovoltaické panely na střeše domu a baterie umístěné například v garáži. V případě výpadku sítě může dům přejít do tzv. ostrovního režimu a čerpat uloženou energii právě z baterií. Baterie pomáhají i v běžném provozu: domácnost díky nim může večer využít energii vyrobenou solárními panely přes den.

Větší bateriové systémy s instalovanou kapacitou jednotek či desítek megawatthodin jsou pak vhodným prvkem pro regulaci sítě [29].

Představení možných řešení akumulátorů

Dnes jsou nejrozšířenějším systémem ukládání energie přečerpávací elektrárny. Představují až 97 % akumulačních kapacit na světě. Ovšem potenciál vhodných lokalit je omezený. Proto se otevírá příležitost pro nástup nových řešení.

Lithiové baterie

Může jít o malá zařízení pro domácnosti, větší systémy pak slouží ke stabilizaci sítě. Lithiový akumulátor je sestaven z uhlíkové anody, katody (oxid kovu) a elektrolytu (lithiová sůl v organickém rozpouštědle). Nemá žádné pohyblivé systémy na rozdíl od průtočných baterií, které zase vynikají větší skladovací kapacitou [29].

Lithiové baterie se nejčastěji využívají k ukládání energie na středně dlouhé doby, ale lze je využít i pro aplikace vyžadující kratší doby uložení. V posledních letech se staly nejdůležitější technologií užívanou pro přenosná elektrická zařízení (mobilní telefony, notebooky). Jsou také hojně využívanou možností pro elektromobily. Zdají se být vhodnou volbou pro zajišťování stálého přísunu energie v místech se slabou energetickou sítí. Největší výhody lithiových baterií jsou vysoká hustota energie, dlouhá životnost a nízká míra samovybíjení [47].

Průtočné baterie

V případě průtočných baterií je kapacita dána objemem elektrolytů na bázi solí rozpuštěných ve zředěné kyselině sírové. Elektrolyty jsou ze zásobních tanků čerpány do prostorů bateriového svazku, kde dochází k elektrochemickým reakcím [29].

Tato technologie má potenciál překlenout mezeru mezi úložišti elektrické energie na střední a dlouhou dobu. Jedná se například o nutnost pokrytí výkyvů produkce energie z obnovitelných zdrojů v řádu více dnů. V současné době dosahují průtokové baterie výkonu od desítek kilowatt po desítky megawattů a kapacita se pohybuje od 500 kilowatthodin po stovky megawatthodin. Průtokové systémy také umožňují rychlý a snadný přechod z vybíjení na nabíjení a regulaci produkovaného výkonu [47].

Power to Gas (P2G)

Prostřednictvím elektrolýzy vody vzniká vodík, který lze pak využít jako palivo pro automobily nebo jej vtlačet do soustavy zemního plynu až do 2 % objemového podílu bez vlivu na spalovací vlastnosti plynu. Další možností P2G je výroba syntetického zemního plynu (SNG) neboli metanu tzv. metanizací – sloučením vodíku a oxidu uhličitého za vysoké teploty a tlaku. Vyrobený plyn lze vtlačet do soustavy zemního plynu bez omezení. V Německu již existuje 17 instalací P2G. Například ve Falkenhagenu mají 2MW zařízení, ve které se využívá energie z větrné elektrárny pro výrobu vodíku [29].

Hlavní výhody velkých baterií:

- pomohou při stabilizaci fungování sítě a přispějí k snadnějšímu začlenění rostoucí výroby větrných a solárních elektráren
- mohou sehrát důležitou roli při ochraně sítě před tzv. blackouty
- usnadní nástup elektromobility, která bude výhledově klást větší nároky na kapacitu přenosových sítí
- lze do nich uložit energii v době přebytku elektřiny v síti a využít ji v době energetické špičky, kdy cena elektřiny roste
- vzhledem k okamžité odezvě jsou baterie ideální řešení pro regulaci kmitočtu

Dnešní celosvětový instalovaný výkon v bateriích je zhruba 2 GW. Nejvíce bateriových systémů je instalováno v USA – zhruba jedna třetina celkové kapacity baterií. Následuje Jižní Korea, Japonsko a Německo. Mezinárodní agentura pro obnovitelné zdroje (IRENA) předpokládá, že do roku 2030 vzroste objem výkonu v bateriích na 170 – 420 GW.

Největším výrobcem baterií je Čína, která v současnosti vyrábí 55 % všech baterií na světě. Čínská vláda plánuje výstavbu dalších továren, které mají v roce 2021 vyrábět na 120 GWh baterií [29].

3.1. Požární rizika bateriových systémů

Přesto že není k dispozici relevantní opora v českých technických normách, lze bateriové systémy instalovat s ohledem na požární bezpečnost za předpokladu dodržení několika základních pravidel. Především se jedná o dodržení pečlivé montáže a správného značení systémů. Funkční bezpečnost je pak zpravidla závislá na kvalitě dodaného BESS a montážní firma ji může ovlivnit (při dodržení návodů výrobce) jen velmi nepatrně. Z hlediska požární ochrany je především nutné dodržet pravidla montáže, které v případě problémů nedovolí rychlý rozvoj požáru (hořlavé okolí), umožní bezpečnou evakuaci osob (umístění BESS mimo intenzivně využívané prostory) a v případě zásahu umožní efektivní zásah hasičů (označení BESS, bezpečné vypnutí a dostupné umístění) [30].

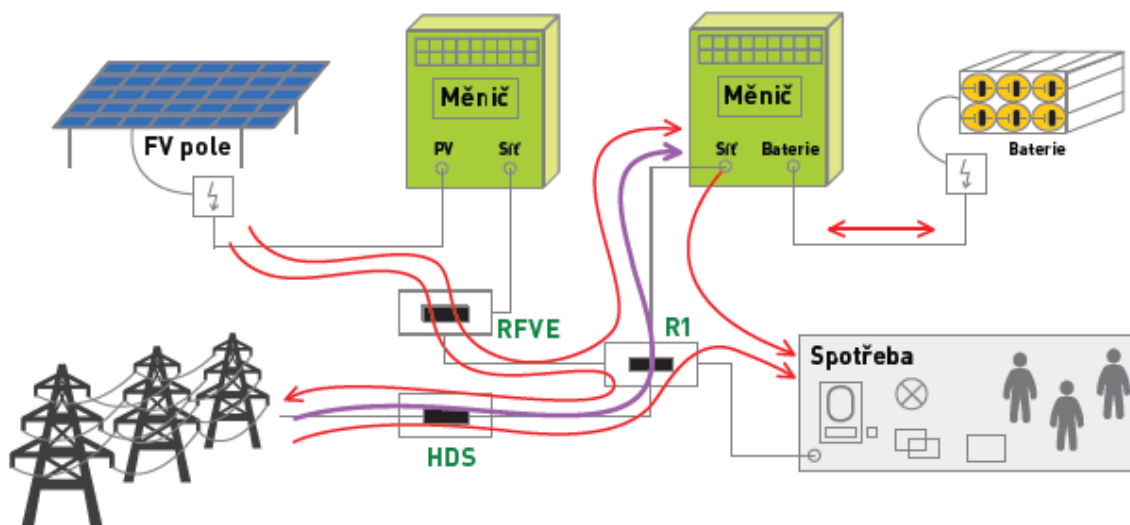
Domácí baterii rozumíme samostatný bateriový systém určený pro použití v domácnostech jako úložiště pro energie. Obvyklá kapacita domácího úložiště je mezi 2 kWh až 20 kWh

Zásadním problémem domácích bateriových úložišť je plánované rozšíření instalací, tedy velký nárůst počtu instalovaných systémů, často bez jasných instalačních pravidel. Z bezpečnostního hlediska se jedná o lokální zdroj energie, který není možno vypnout současně s vypnutím hlavního vypínače objektu. Konstrukčně jsou domácí baterie většinou volně stojící rozváděče s kombinací měničů a elektrochemických úložišť [30].

Samotné baterie dnes již nepředstavují řádově vyšší požární riziko, protože obsah vysoce reaktivního lithia je v systému snížen na minimum. Nicméně se jedná o zásobník energie s nízkou tepelnou odolností (baterie pracují do teploty přibližně 80 °C a pak nastává jejich degradace) Při teplotách nad 125 °C je již degradace systému tak závažná, že není cesty zpět a systém začíná aktivně podporovat chemicko-fyzikální procesy vedoucí k vzniku hoření, spojené s vývinem silně toxických a korozivně působících zplodin hoření. Průběh hoření je často připodobňován k hoření plastů. I v případě moderních „bezpečných“ baterií zůstává aktivní riziko vzniku požárů způsobených tepelnými účinky zkratových proudů [30].

Rozvoj instalací

Z původně instalovaných systémů umístovaných především v průmyslu, jako záložní napájení důležitých budov a technologií se v současné době baterie stěhují do domácností a menších firem. Baterie jsou instalovány do domácností jako součást novostavby, nebo jako modernizace stávajícího systému. Především v případě modernizací systému a realizace systému jako tzv. AC link je zde velké riziko chyb při instalaci a navýšení toků energie tam, kde s tím nebylo při realizaci elektroinstalace počítáno. Příklad toků energie v AC systému viz Obrázek 9. Obrázek ukazuje před doplněním instalace nepředvídatelné zatížení spoje hlavního domovního rozváděče s rozváděčem R1 proudem nutným pro nabíjení baterie v případě nedostatku energie z FV systému (fialová šipka) [30].



Obrázek 9 Toky energie v systému s „AC link“ [30]

Rozvoj instalací



1 Olověná baterie, 2 Lithiové baterie

Obrázek 10 Podrobné vyjádření rizik BESS [30]

U lithiových baterií bývá často omezena dolní teplota pro nabíjení hodnotou 0 °C. V instalačním manuálu je také často uvedena minimální vzdálenost od okolních předmětů. Pokud tomu tak není, je dobré počítat při instalaci se zahříváním systému. Celkovou účinnost

bateriového systému lze hrubě odhadnout na přibližně 85 %, tedy je vhodné počítat s tepelnou ztrátou systému na úrovni přibližně 7 % jmenovitého výkonu bateriového úložiště. V případě venkovního umístění je požadavkem UV odolnost všech částí systému a krytí minimálně IP54. Dále je potřeba zabránit mechanickému poškození, například montáží zábrany před najetím vozidla do rozváděče BESS [30].

Rizika požáru

Riziko požáru lze snížit dodržením správné technické kázně při instalaci bateriového systému, především je potřeba věnovat pozornost:

- **Kabelovému DC systému** – hlavní rozvody v DC systému jsou většinou dimenzovány na velké proudové zatížení, z tohoto důvodu nemusí vždy nadproudová ochrana (existuje-li, protože například vývody baterií často nejsou jištěny vůbec) zajistit vypnutí v případě zkratu s velkou impedancí. Zkrátka řečeno, zkrat s větší impedancí zkratové smyčky nestačí vybavit v obvodu zapojenou pojistku a oteplení v místě zkratu zakládá vznik požáru. Lze tedy doporučit zvýšenou ochranu kabelů DC systému před mechanickým poškozením. Kabel pro propojení baterií nesmí být delší jak 2 m a musí být označen.
- **Mechanické ochrany baterie samotné** – především před poškozením například vozidlem v případě umístění v garáži.
- **Dodržení rozsahu doporučených teplot** – případně při vybočení z teplotního rozmezí ihned zařízení odstavit.
- **Používat BMS** – BMS systém by měl být použit především pro zajištění vhodných pracovních podmínek bateriových článků a při vybočení z dovolených mezí teploty nebo napětí by mělo být okamžitě přistoupeno k odpojení systému. Lze také doporučit instalaci BMS systémů bez SPOF – tedy systémy odolných před selháním jednoho prvku.
- Vyvarováním se instalacím do prostředí s hořlavým okolím.
- **Dodržení zakázaných zón** – nad bateriovými články by měla být minimální mezera 500 mm a zrovna tak je potřeba dodržet volný prostor pod 100 mm úrovní bateriových vývodů. Dodržení těchto pravidel by měl zajistit především projektant.
- **Instalace zásuvek** – zásuvky smí být instalovány ve vzdálenosti minimálně 1,8 m od bateriového systému. Toto nařízení minimalizuje možnost zkratu při pádu vidlice na odkryté bateriové svorky. Obdobně je nutno dodržet bezpečnou vzdálenost při instalaci osvětlení. Toto pravidlo je důležité v případě instalace systémů s odkrytými póly baterií, u zapouzdřených systémů lze toto nařízení zmírnit, nicméně si dovoluujeme apelovat na projektanty, aby přistupovali k instalaci baterií s vysokou zodpovědností, a to především s ohledem na okolí instalace.

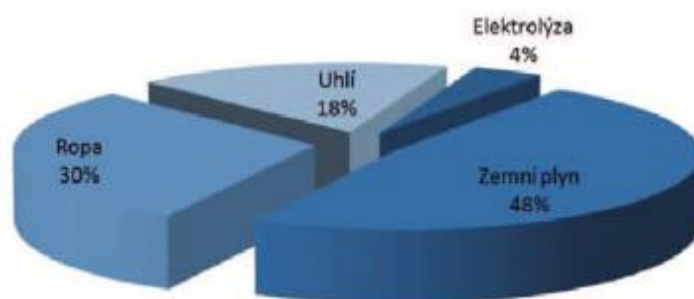
Všechny prvky bateriového systému musí být označeny příslušnými varovnými a informačními tabulkami. Především je nutné definovat typ použitých baterií (kategorizovat dle skutečného rizika), jejich jmenovité napětí a zkratový proud. Dále je potřeba označit místo uložení bateriového systému, bezpečnostní vypínací prvky a jističe, kabely a rozváděče [30].

4. Vodíková energetika

Dalším způsobem, jak akumulovat energii je výroba vodíku. Zde je na místě si uvědomit, že vodík slouží pouze jako nosič energie. Protože se v přírodě volně nevyskytuje, je nutné ho vyrobit z jiného zdroje, a přitom musíme počítat se ztrátami. Vodík lze vyrobit několika způsoby. V současné době je nejrozšířenější výroba vodíku z fosilních paliv viz. Graf 11 Zastoupení primárních zdrojů ve výrobě vodíku [41]

. Nejvíce vodíku se vyrábí parním reformingem zemního plynu. Další technologií je parciální oxidace ropných frakcí a poslední technologií využívající fosilní palivo je zplyňování uhlí.

O vodíku se mluví jako o zdroji čisté energie. Samozřejmě platí, že vodík je tak čistý zdroj energie, jak čistá je jeho výroba. Proto je z ekologického hlediska nejvhodnější vodík vyrábět pomocí obnovitelných zdrojů energie. Příkladem využití obnovitelných zdrojů může být elektrolýza vody elektrinou získanou např. z větrné elektrárny nebo biologické procesy využívající biomasu [40].



Graf 11 Zastoupení primárních zdrojů ve výrobě vodíku [41]

Oproti fosilním palivům má použití vodíku dvě hlavní výhody. Jednak je díky široké škále možností výroby prakticky nevyčerpatelný, a navíc jeho spalováním (v ideálním případě) vzniká pouze vodní pára [42].

Ukládání elektrické energie do vodíku spočívá v přeměně vody na vodík pomocí elektrolýzy. Vodík je následně uskladňován, nejčastěji v tlakových nádobách, a zpětně převeden na elektrickou energii pomocí palivových článků. Tato technologie, ale v současné době se potýká s velmi nízkou účinností konverze a vysokými investičními náklady na pořízení nezbytných součástí systému [43].

4.1. Výroba a využití vodíku

Průmyslově se dnes vodík vyrábí elektrolýzou vody nebo rozkladem zemního plynu. Vodík je, díky své vysoké reaktivitě, v čisté formě přítomný v atmosféře pouze ve stopových množstvích (kolem 0,00001 % obj.). Dále můžeme vodík získat z vody, a to jejím zahřáním na teplotu kolem 2800°C. V běžných podmínkách však není možné dosáhnout tak vysokých teplot (je to možné pomocí plasmu nebo při jaderné reakci).

Mezi další metody, které jsou nyní ve fázi vývoje, ale mohou v budoucnosti ovlivnit výrobu vodíku, patří například fotoelektrochemické metody (využití světla – fotovoltaických článků –

pro získání vodíku z molekul vody) a fotobiologické a biologické metody, které využívají schopnosti některých mikroorganismů produkovat vodík [48].

4.2. Skladování vodíku

Vývoj bezpečného, cenově dostupného a energeticky efektivního způsobu uskladnění vodíku je klíčový pro budoucnost vodíkových technologií a palivových článků. Vodík má ze všech paliv nejmenší hustotu a nejnižší bod varu, což značně komplikuje jeho skladování.

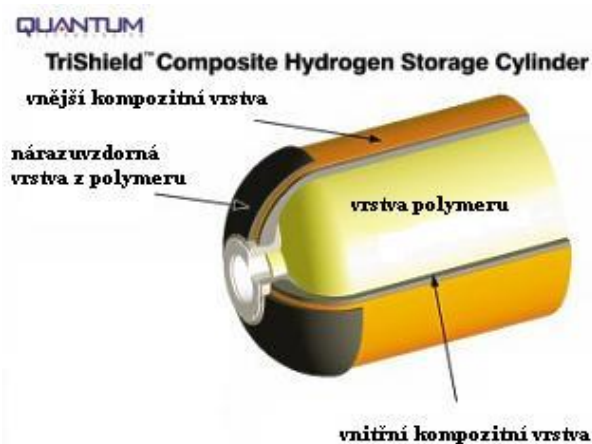
Technologie pro skladování vodíku můžeme dle stupně výzkumu a vývoje v zásadě rozdělit na konvenční a alternativní. Ke konvenčním technologiím patří především tlakové nádoby pro plyný vodík a kryogenní nádoby pro zkapalněný vodík. Zástupcem alternativních technologií je např. skladování vodíku v metalydridech, komplexních hydridech, v nanostrukturách uhlíku a jako součást chemických látek [50].

Skladování vodíku je však zatíženo specifickými obtížemi. Vodík má nízkou hustotu, molekuly vodíku jsou malé, proto může difúzně pronikat i některými materiály (plasty, některé kovy,...) v kapalném i plyném stavu, způsobuje vodíkové křehnutí a je vysoce reaktivní. Existuje několik technických možností skladování vodíku.

Nejpoužívanější variantou je skladování plyného vodíku v bateriových zásobnících. Pro větší skladovací množství se využívá skladování v kapalném skupenství. Skladování velkého množství vodíku v hydridech kovů se z finančních důvodů nevyužívá, skladování vodíku v pevném stavu nebo v tzv. Slush modifikaci se dosud prakticky nepoužívá [48].

Skladování vodíku v plynné fázi

V případě skladování plyného vodíku se obvykle používají tlaky mezi 40-200 MPa. Zásobníky se vyrábějí z nízkouhlíkové oceli bez použití svaru. Nádoby jsou obvykle v bateriovém uspořádání. Pro vyšší objemy se používají vysokotlaké nádoby (tlaky kolem 100 MPa). Energetická náročnost skladování stlačeného plyného vodíku je nižší než v případě skladování vodíku v kapalně formě. Poměrně vysoké jsou náklady na výrobu vysokotlakých nádrží, stejně jako náklady na kompresi. Přes tuto skutečnost se však jedná o variantu nejčastěji používanou [48].



Obrázek 11 Kompozitní tlaková nádoba na vodík [55]

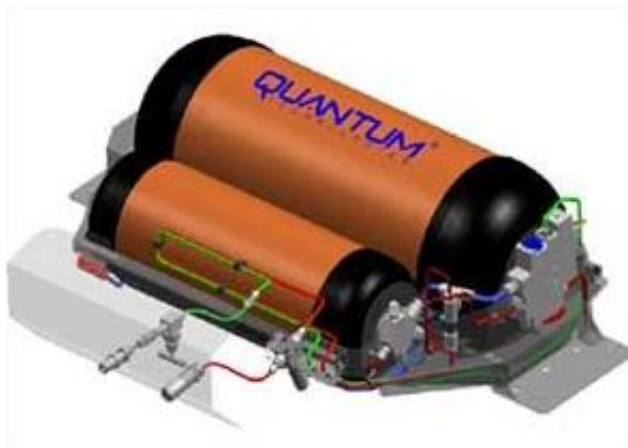
Pokud chceme skladovat vodík ve vysokotlakých nádržích musíme jej nejprve stlačit na požadovaný tlak. Pro stlačování vodíku se používá zejména pístových kompresorů. Energie potřebná na stlačení vodíku na 350 bar dosahuje přibližně 30 % energie v palivu [50].

Další možností skladování vodíku v plynné formě je skladování v podzemních úložištích. Obvykle se jedná o vytěžené solné doly, nebo jeskyně zemního plynu. Tlak skladovaného vodíku se obvykle pohybuje kolem 11 MPa, vyšší tlak se nepoužívá z důvodu možného překročení kapilárních sil udržujících vodu v mikropórech a následného úniku vodíku. Ve světě se tato metoda využívá na několika místech, např. v Amarillo v Texasu (850 mil. m³), ve francouzském Beynes (330 mil. m³), anglickém Billingtonu (2,2 mil. m³). Další úložiště se nacházejí např. v Německu a Holandsku [48].

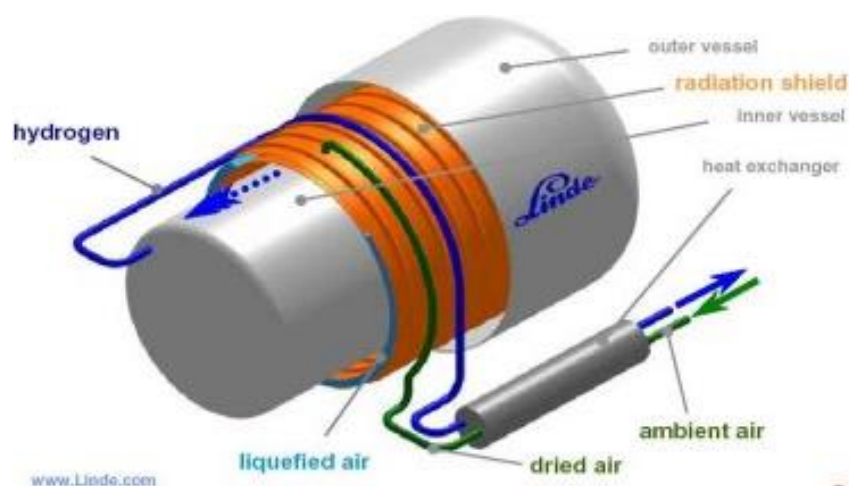
Skladování vodíku v kapalně fázi

Běžně využívaná fosilní paliva je možné skladovat v kapalném stavu za běžných teplot a při relativně nízkých tlacích, oproti tomu kapalný vodík je skladován při teplotě -253 °C; s tím souvisejí zvýšené nároky na použité materiály a vysoké energetické nároky na zkapalnění [50]. Proces ochlazení a komprese při tom znamená ztrátu až 30% energie, uchovávané v kapalném vodíku. Další energie se spotřebovává při přechodu ortoformy vodíku na paraformu (paravodík je stabilnější při nižší teplotě a má nižší entalpický obsah) [48].

V neposlední řadě je zapotřebí uvážit náklady na čištění vodíku – všechny plyny kromě helia mají vyšší teplotu varu a proto by při ochlazování zkapalnily a nebo ztuhly. Zvláštní pozornost je zapotřebí věnovat stopovému množství zbytkového kyslíku, jehož koncentrace v kapalném vodíku nesmí kvůli nebezpečí výbuchu překročit hranici 1 ppm. Sečteme-li náklady na proces převedení plynného vodíku do kapalně fáze a náklady na výstavbu tepelně izolovaných nádrží, pak skladování vodíku v kapalně formě se stává finančně velmi náročným procesem [48].



Obrázek 12 Skladování kapalného vodíku ve vysokotlakých nádobách až do 71 MPa [55]



Obrázek 13 Kryogenická nádrž pro skladování kapalného vodíku [55]

Vzhledem k fyzikálně-chemickým vlastnostem vodíku a s tím souvisejícím nárokům na skladovací zařízení je obvykle kapalný vodík skladován ve vysokotlakých nádržích vybavených tepelnou izolací, nebo v Dewarových nádobách, které jsou vybaveny dvojitou stěnou a vakuovým meziprostorem [48].

Zkapalňování vodíku je technologicky i energeticky náročný proces. Energie potřebná ke zkapalnění dosahuje přibližně 40 % energie v palivu [50].

Skladování vodíku v pevné fázi

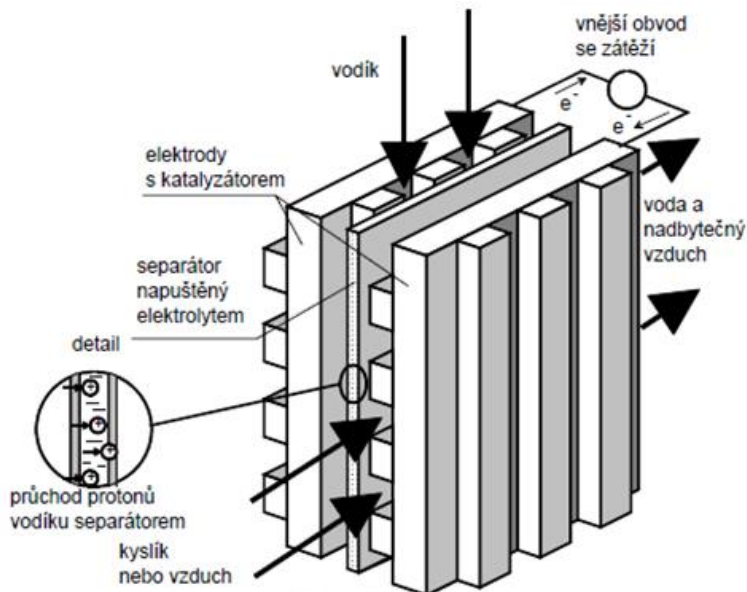
V budoucnu se ukládání vodíku v pevném skupenství může stát bezpečným a účinným způsobem skladování energie. Ve vývoji je několik vhodných technologií. Při adsorpci je vodík ukládán účinkem silového pole na povrchu pevného materiálu s co největší plochou (např. grafit). Dále může být vodík ukládán absorpcí do materiálů na bázi kovu. Používané hydridy se dělí na metalhydridy a komplexní hydridy. Poslední technologie spočívá ve využívání vhodných chemických reakcí, při kterých sloučenina v reakci s vodou uvolňuje H_2 [52][53].

Adsorpce spočívá v tom, že se do silového pole vhodného materiálu, který má velikou specifickou plochu povrchu, zachytí molekuly vodíku. Nejčastěji je zkoumáno využití uhlíkových nanovláken nebo grafitu. Těmito materiály se zabývá mnoho studií s velice rozdílnými výsledky. Při použití velice kvalitního adsorbentu je možné při kryogenních teplotách dosáhnout využitím fyzikální adsorpce hmotnostní kapacity až 6 %hm H_2 . Při využití chemisorpce lze dosáhnout až 8 %hm H_2 , ale vazby uvolňují vodík až při vysokých teplotách (více než 400 °C). Za pokojových teplot se zachytí vodíku příliš málo. Nutnost použití takto nízkých nebo vysokých teplot znesnadňuje zavedení této metody. Z těchto důvodů nejsou uhlíkové materiály příliš vhodné. Aby se jejich používání stalo ekonomicky výhodné, bude potřeba provést v této oblasti další výzkum. Kromě výzkumu uhlíkových materiálů se jiné studie zabývají využitím jiných mikroporézních materiálů. Např. zeolitů (hlinitokřemičité materiály), klatrátů (voda ve formě ledu s přidanými molekulami CH_4 , nebo CO_2), nebo materiálů využívajících strukturu oxidů kovu (nejčastěji struktura ZnO s benzenovými kroužky). Všechny uvedené materiály sice mají velkou specifickou plochu, ale stejně jako uhlíkové materiály adsorbují větší množství vodíku pouze při velmi nízkých teplotách [52][53].

4.3. Palivové články

Palivové články jsou energetická zařízení primárně využívající vodík přímo a nebo vodík reformovaný z jiných paliv [48].

Palivové články patří mezi zařízení, v nichž na základě elektrochemických procesů dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou. V tomto ohledu jsou tedy podobné článkům primárním či sekundárním (bateriím). Existují zde ovšem značné rozdíly. Ten zásadní spočívá ve skutečnosti, že aktivní chemické látky nejsou v případě palivových článků součástí anody a katody, ale jsou k nim průběžně přiváděny zvnějšku. Obě elektrody působí výlučně jako katalyzátor chemických přeměn, během činnosti článku se téměř neopotřebovávají a jejich chemické složení se nemění. Palivový článek se tedy nevybíjí. Pokud jsou do něho aktivní látky přiváděny trvale, může pracovat prakticky bez časového omezení. Mízí zde tudíž i pojem "kapacita článku". Kromě napětí se proto mezi charakteristické parametry obvykle řadí i velikost proudu či výkonu odebíraného z 1 dm^2 (1 cm^2) elektrod. Často se také udává měrný výkon (W/kg), objemový výkon (W/dm^3) nebo výkon na jednotku plochy elektrod (W/cm^2). Další rozdíl spočívá v tom, že pracovní teplota většiny palivových článků je vyšší (u některých typů velmi výrazně) než u baterií, což se odráží jak v technologii výroby, tak i v určité době náběhu, než dosáhnou jmenovitých provozních parametrů. Obrázek 14 znázorňuje principiální schéma [56]



Obrázek 14 Schéma technologie výroby elektřiny v palivovém článku [55]

Palivové články přeměňují plynná paliva (např. vodík a metan) na elektřinu, nebo teplo. U paliva nedochází k žádnému spalování, místo toho je přeměňováno elektrochemickou reakcí. Palivový článek pracuje bez hluku a je šetrný k životnímu prostředí. Jejich větší rozšíření by mohlo snížit závislost na neobnovitelných zdrojích energie. Je možné je využít v celé řadě aplikací, např. vytápění a napájení budov, zajišťování energie v ostrovních systémech, nebo jako záložní zdroje energie [54].

Je veliké množství různých typů palivových článků, navzájem se ale od sebe odlišují pouze použitými materiály. Základní stavba jednoho článku spočívá ve složení z elektrolytického materiálu, anody, katody a podpůrných spojů. Při reakci nabité ionty procházející elektrolytem vytváří napěťový rozdíl mezi katodou a anodou, čímž vzniká na vnějším obvodu elektrický proud [54].

4.4. Bezpečnost vodíku

Téměř všechny paliva jsou nějakým způsobem nebezpečná. Dalo by se s nadsázkou říct, že to je právě ta vlastnost, pro kterou se využívají.

Vysoká hustota energie, hořlavost a výbušnost jsou vlastnosti, které jsou společné všem druhům paliv. Skladování takových paliv v prostoru vozidla představuje riziko vznícení případně výbuchu paliva vně spalovací komory tepelného motoru nebo palivového článku. Vodík není v tomto ohledu výjimkou, přesto je jeho chování v mnoha ohledech velmi odlišné od stávajících fosilních paliv.

- Vodík tvoří spolu se vzduchem hořlavou a výbušnou směs v širokém rozsahu koncentrací (4 - 75 % objemu pro hořlavou směs a 19 - 59 % objemu pro výbušnou směs).
- Při rychlé expanzi může dojít k samovznícení.
- Vodík má velmi nízkou zápalnou energii, již velmi malý elektrostatický náboj (0,02 J) může iniciovat vzplanutí paliva.
- Nízká viskozita a malá velikost vodíkové molekuly kladou zvýšené nároky na utěsnění palivové soustavy.
- Únik vodíku není možné rozpoznat lidskými smysly.
- Velmi nízká hustota plynu napomáhá rychlému rozptýlu do okolí, a tedy k rychlému snížení koncentrace pod zápalnou mez.
- Nebyly zjištěny toxické účinky na člověka, při hoření nevznikají toxické zplodiny.
- Za denního světla není vodíkový plamen téměř viditelný.

Přestože většina výše uvedených parametrů je z hlediska bezpečnosti oproti běžným palivům méně příznivých, mnoho praktických zkoušek prokázalo menší destrukční účinky vzplanutí vodíkové nádrže na vozidlo i menší riziko pro posádku.

U konvenčních skladovacích systémů je vodík skladován v nádobách za velmi nízkých teplot případně za vysokých tlaků. Takovéto systémy jsou velmi náchylné na porušení pláště skladovací nádoby. Při mechanickém poškození nádoby může dojít ve velmi krátké době k úniku celého obsahu nádrže a k případnému vzplanutí nebo výbuchu.

Při skladování vodíku v kryogenní nádrži dochází vlivem přestupu tepla k pozvolnému odparu. V případě, kdy je odpařený vodík jednoduše vypouštěn do atmosféry je nutné dodržet zvýšená bezpečnostní opatření, aby se zabránilo hromadění vodíku v uzavřených prostorách. Velmi nízká teplota skladovaného vodíku představuje pro člověka vážné zdravotní riziko. Při kontaktu s pokožkou může dojít ke kryogenním popáleninám, omrzlinám a podchlazením; při vdechnutí studených par potom k vážnému poškození plic. Nebezpečné mohou být i vysoce

podchlazené kovové části palivového systému, při manipulaci s takovými částmi systému je nezbytné používat ochranné rukavice.

U alternativních systémů skladování vodíku je vodík vázán ve struktuře materiálu; při poruše pláště nádrže tedy nedochází k rychlému úniku vně nádrží vozidla [51].

4.5. Budoucnost vodíkových technologií

Navzdory dostupným technologiím je ukládání elektrické energie do vodíku stále poměrně mladou technologií, která má vhodné vlastnosti pro skladování přebytečné energie z obnovitelných zdrojů. Další výzkum by měl přinést zvýšení účinnosti a snížení nákladů. V současné době je nejnákladnější součástí ukládacího systému palivový článek. Další možnost využití získaného vodíku spočívá v jeho převedení na syntetický zemní plyn. Proces metanizace s sebou sice přináší další snížení účinnosti, ale odpadá s ním nutnost využití nákladných palivových článků. Syntetický zemní plyn je možné spalovat v dostupných plynových turbínách, nebo může být přímo dodáván zavedenou rozvodnou sítí pro zemní plyn. Vodíkové technologie tedy mají potenciál se stát velmi vhodným a komerčně dostupným způsobem pro ukládání elektrické energie, v současné době jsou ale nezanedbatelně nákladnější než jiné technologie se srovnatelným zaměřením [40].

Vodík může být vyráběn existujícími elektrárnami energeticky optimálním způsobem. Elektrolyzér pro výrobu vodíku by bylo možné umístit do elektrické sítě jako prostředek ke kontrole a řízení elektrického systému. Zavedení elektrolyzérů v místech poptávky umožňuje přemístit řízení zátěže z elektrárny do odběrného místa. Elektrárny budou schopny vyrábět za optimálních podmínek při plném zatížení. Sníží to nákladovou nevýhodu, kterou má elektrická produkce vodíku oproti výrobě ze zemního plynu. Kromě tržní ceny vodíku je výhodný i lepší výkon elektráren.

Vodík nabízí energetickým společnostem do budoucna řadu možností. Subjekty vyrábějící energii mají zkušenosti s nosiči energie. Ty mohou být užitečné například pro použití vodíku jako primárního paliva pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Navíc se nabízí šance prodávat vodík sektoru dopravy a vstoupit tak na nový trh [48].

Seznam značek a zkratek

BESS	Battery energy storage system – bateriové uložení energie
BMS	Battery management system – systém pro ochranu a monitoring baterie
BRKO	biologicky rozložitelná část komunálního odpadu
CZT	centrální zásobování teplem
ČOV	čistička odpadních vod
FRL	Fire Resistance Level – Stupeň odolnosti vůči požáru
FVE	fotovoltaická elektrárna
HZS	Hasičský záchranný sbor
IEA	Mezinárodní energetická agentura
KI	kritická infrastruktura
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla
ICT	Informační a komunikační technologie, zkráceně ICT (z anglického Information and Communication Technologies)
IP54	svítidla pro prašné a vlhké prostředí. Minimální krytí pro svítidla užívaná v průmyslových prostorách
MHMP	Magistrát hlavního města Prahy
MOO	maloodběr elektřiny obyvatelstvo
MOP	maloodběr elektřiny podnikatelé
MVE	malé vodní elektrárny
ORC	Organický Rankinův Cyklus
PBS	Předpisy požární bezpečnosti
P2G	Power to Gas
RDS	regionální distribuční soustava
SPOF	Single point of failure – selhání systémů po závadě jednoho prvku
SSHM	Správa státních hmotných rezerv
VE	větrné elektrárny
VN	vysoké napětí od 1 kV do 52 kV (podle ČSN 330010)
VO	velkoodběr elektřiny
VVN	velmi vysoké napětí nad 52 kV (podle ČSN 330010)

Seznam grafů

Graf 1 Primární energetické zdroje v ČR v roce 2020.....	8
Graf 2 Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto v roce 2020 [25]	9
Graf 3 Spotřeba elektřiny netto v krajích ČR (GWh) v roce 2020 [25]	10
Graf 4 Podíl jednotlivých sektorů národního hospodářství na celkové spotřebě elektřiny v ČR v roce 2020 [25]	10
Graf 5 Vývoj instalovaného výkonu v ES ČR (MW) k 31.12.2020 [25].....	10
Graf 6 Celkový počet odběrných míst a podíl RDS na celkovém počtu odběrných míst v roce 2020 [25]	11
Graf 7 Podíl spotřeby zemního plynu v ČR podle kategorií zákazníků v roce 2020 [26]	12
Graf 8 Podíl paliv na výrobě tepla brutto v roce 2020 [27]	14
Graf 9 Spotřeba tepla v krajích ČR podle sektorů národního hospodářství (TJ) v roce 2020.....	15
Graf 10 Podíl jednotlivých sektorů národního hospodářství na spotřebě tepla v ČR v roce 2020	15
Graf 11 Zastoupení primárních zdrojů ve výrobě vodíku [41].....	47

Seznam obrázků

Obrázek 1 Přeshraniční fyzické toky (GWh) v roce 2020 [25]	9
Obrázek 2 Přepravní soustava a zásobníky plynu v ČR v roce 2020 [26]	12
Obrázek 3 Ropovodní systém v České republice [59]	13
Obrázek 4: Následky blackoutů v časovém rozložení.....	21
Obrázek 5 Proces managementu ochrany prvku KI (Řehák et al., 2018c)	26
Obrázek 6 Koncept ochrany kritické infrastruktury (Řehák, 2019)	26
Obrázek 7 Rozdělení resilience (Řehák et al., 2018c).....	27
Obrázek 8 Postup posilování resilience v systému kritické infrastruktury.....	28
Obrázek 9 Toky energie v systému s „AC link“	45
Obrázek 10 Podrobné vyjádření rizik BESS.....	45
Obrázek 11 Kompozitní tlaková nádoba na vodík [55].....	48
Obrázek 12 Skladování kapalného vodíku ve vysokotlakých nádobách až do 71 MPa [55]	49
Obrázek 13 Kryogenická nádrž pro skladování kapalného vodíku [55].....	50
Obrázek 14 Schéma technologie výroby elektřiny v palivovém článku [55].....	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam největších blackoutů v historii [24]	19
Tabulka 2 Porovnání parametrů různých technologií výroby elektrické energie z biomasy	34
Tabulka 3 Orientační klíčová čísla pro výhřevnost, výnosy, dobu sklizně a sklizňovou vlhkost energetické fytohmoty (zdroj:VÚRV)	34
Tabulka 4 Spotřeba paliva pro dodávku 30 tis. GJ (cca 1000 bytů).....	35

Zdroje informací

- [1] POSPÍŠILOVÁ, Vendula. *Energetická bezpečnost zemí V4*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [2] HROMADA, Martin a Tomáš FRÖHLICH. VÝCHODISKA ZAJIŠŤOVÁNÍ STABILNÍ DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE. *THE SCIENCE FOR POPULATION PROTECTION*. 2019, **2019**(1), 11.
- [3] KOTALOVÁ, Nikol. *Přístupy a nástroje v oblasti posilování resilience kritické infrastruktury*. Ostrava, 2019. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava.
- [4] WILSON, Alex Benjamin a Alina DOBREVA. Dodávky energie a energetická bezpečnost. *BRIEFING Politiky EU – Přínos občanům*. 2019, **2018**, 9.
- [5] KRÁLÍK, Lukáš KRÁLÍK a David MALANÍK. *HODNOCENÍ ODOLNOSTI PRO OBLAST ENERGETIKY PŘÍPADOVÁ STUDIE*. 2018.
- [6] DLABKA, Jakub, Pavel DANIHELKA, Petr NOVOTNÝ, et al. *Od zranitelnosti k resilienci: adaptace venkovských oblastí na klimatickou změnu*. Brno: ZO ČSOP Veronica, 2016. ISBN 978-80-87308-32-5.
- [7] NÁTROVÁ, Tereza. *Energetická bezpečnost EU: Zajištění dodávek zemního plynu z Ruské federace*. Olomouc, 2016. Diplomová práce. Univerzita palackého v Olomouci.
- [8] BENEŠ, Ivan. *Blackout: resilient power : informační příručka*. Praha: Cityplan, 2008. ISBN 978-80-254-3816-9.
- [9] ŠENOVSKÝ, M., ADAMEC V. a ŠENOVSKÝ P.. *Ochrana kritické infrastruktury*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, 141 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-025-8.
- [10] KOLEKTIV AUTORŮ. *Ochrana kritické infrastruktury*. Česká asociace bezpečnostních manažerů, 2011. ISBN 978-80-260-1215-3.
- [11] SOULEIMANOV, E.. *Energetická bezpečnost*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011, 261 s. ISBN 978-80-7380-331-5.
- [12] Cvičení Blackout: Co je Blackout? [online]. [cit. 2015-08-03]. Dostupné z: zdroj: <http://blackout-praha.cz/>
- [13] Nařízení vlády č. 432/2010 Sb., o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury. *Sbírka zákonů České republiky*. 2010, částka 149, s. 5623-5630. ISSN 1211-1244. Dostupný také z: <https://www.mvcr.cz/ochrana-kriticke-infrastruktury-ochrana-kriticke-infrastruktury.aspx>
- [14] Státní energetická koncepce České republiky. Ministerstvo průmyslu a obchodu 2014. Dostupný také z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/>
- [15] Vyhláška č. 80/2010 Sb., o stavu nouze v elektroenergetice a o obsahových náležitostech havarijního plánu, v platném znění. *Sbírka zákonů České republiky*. 2010, částka 28, s. 946-597. ISSN 1211-1244. Dostupný také z: aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=5669
- [16] Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 131, s. 7142-7189. ISSN 1211-1244. Dostupný také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=458/2000%20&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy
- [17] Typový plán – Narušení dodávek elektrické energie velkého rozsahu. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2018. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/typove-plany-reseni-krizi/typove-plany-reseni-krizovych-situaci-v-energetice--236674/>

- [18] Postup při kategorizaci objektů a definici scénářů výpadku pro zajištění energetické odolnosti. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2019. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/>
- [19] HROMADA, Martin. *Ochrana kritické infrastruktury ČR v odvětví energetiky*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2014. ISBN ISBN978-80-7385-144-6. Dostupné z: <https://docplayer.cz/24501397-Ochrana-kriticke-infrastruktury-cr-v-odvetvi-energetiky.html>
- [20] BÍLEK, Martin. *Problematika kritické infrastruktury*. FSV UK Praha 2010. Dostupné z: <https://docplayer.cz/37620342-Problematika-kriticke-infrastruktury.html>
- [21] *Vyhodnocení cvičení BLACKOUT 2014: Příloha 1b* [online]. [cit. 2015-08-03]. Dostupné z: <http://www.unbr.cz/Data>
- [22] NOVÁK, Radek a Tereza HRTÚSOVÁ. *ENERGETIKA V ČR: QUO VADIS* [online]. In: . 2019. Dostupné z: <http://www.edotace.cz/clanky/energetika-v-cr-quo-vadis>
- [23] Zbynekmloch.cz: Blackout - totální výpadek elektrické energie [online]. [cit. 2015-08-03]. Dostupné z: <http://www.zbynekmloch.cz/informace/texty/technika/blackout-totalni-vypadek-elektricke-energie-nasledky-a-znovuzprovozneni-site>
- [24] Tzbinfo: *Blackout a obnovitelné zdroje* [online]. [cit. 2015-08-03]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/9517-blackout-a-obnovitelne-zdroje-energie>
- [25] Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky za rok 2020. Energetický regulační úřad. Dostupná z: <https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>
- [26] Roční zpráva o provozu plynárenské soustavy České republiky za rok 2020. Energetický regulační úřad. Dostupná z: <https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-plynarenske-soustavy>
- [27] Roční zpráva o provozu teplárenských soustav České republiky za rok 2020. Energetický regulační úřad. Dostupná z: <https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-teplarenskych-soustav>
- [28] Česká firma připravila unikátní bateriové úložiště [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/533/ceska-firma-pripravila-unikatni-bateriove-uloziste/>
- [29] SEDLÁK, MARTIN a ONDŘEJ ŠUMAVSKÝ. *Akumulace energie příležitost pro akceleraci české moderní energetiky* [online]. Praha, 2017. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/nase-aktivity/nase-publikace>
- [30] HRZINA, Pavel a Marek POKORNÝ. *Požární rizika bateriových systémů a doporučení jak se jim vyhnout* [online]. Praha: Solární asociace, spolek, 2019. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/nase-aktivity/nase-publikace>
- [31] *Decentralizace elektroenergetiky* [online]. 2017. Dostupné z: <https://home.kpmg/cz/cs/home/clanky-a-analyzy/2017/09/decentralizace-elektroenergetiky.html>
- [32] NEJEDLÝ, Petr. *Energie budoucnosti – virtuální elektrárny a inteligentní sítě?* [online]. 2009. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/energetika/energie-budoucnosti-virtualni-elektrarny-a-inteligentni-site.aspx>
- [33] *Energie nadosah: bezpečnostní, sociální a ekonomické výzvy decentralizované energetiky*. Praha: Zelený kruh, 2008. APEL. ISBN ISBN:978-80-903968-3-8. Dostupné z: <https://www.hnutiduha.cz/publikace/energie-nadosah>
- [34] BENEŠ, Ivan a Dušan PRINC. *Využití potenciálu decentralizované výroby tepla a elektřiny v kogeneraci*. Praha, 2008. Dostupné také z: <https://www.hnutiduha.cz/publikace/vyuziti-potencialu-decentralizovane-vyroby-tepla-elektřiny-v-kogeneraci>

- [35] DENKOVÁ, Adéla. *Chytrá elektřina: co jsou to inteligentní sítě a k čemu slouží* [online]. 2017 [cit. 2020-11-03]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/all/linksdossier/chytra-elektrina-co-jsou-to-inteligentni-site-a-k-cemu-slouzi/>
- [36] BATERIOVÁ ÚLOŽIŠTĚ [online]. Praha. Dostupné z: <http://www.decci.cz/obnovitelna-energie/bateriova-uloziste/>
- [37] ČESKÁ REPUBLIKA. *Bezpečnostní strategie ČR*. Praha: Ministerstvo zahraničních věcí ČR, 2015. Dostupné také z: <http://www.vlada.cz/assets/ppov/brs/dokumenty/bezpecnostni-strategie-2015.pdf>
- [38] DOUCEK, A., JANÍK, L., TENKRÁT, D., DLOUHÝ, P. *VYUŽITÍ VODÍKU K REGULACI VÝKONU OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE*. CHEMAGAZÍN [online]. 2010, č. 3. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/CHXX_3_cl1.pdf
- [39] UMLAUF, Martin. *VODÍKOVÁ PALIVA*. Brno, 2014. Bakalářská práce. VÚT v Brně. Dostupný z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/71079>
- [40] ŠVÁCHA, Adam. *VODÍKOVÉ TECHNOLOGIE PRO AKUMULACI ELEKTRICKÉ ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ*. Brno, 2017. Bakalářská práce. VÚT v Brně. Dostupný z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/101419?zp_id=101419&aid_redir=1
- [41] HAWKES, Adam a Dan BRETT. Fuel Cells for Stationary Applications [online]. Dostupné z: https://iea-etsap.org/ETechDS/PDF/E13_STFuel_Cells_AH_Jan2013_Final_GSOK.pdf
- [42] KOST, Christoph, Johannes N. MAYER, Jessica THOMSEN, Niklas HARTMANN, Charlotte SENKPIEL, Simon PHILIPPS, Sebastian NOLD, Simon LUDE, Noha SAAD a Thomas SCHLEGL. Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies [online]. Dostupné z: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_technologies.pdf
- [43] GARDINER, Monterey R. Hydrogen for Energy Storage. Hannover Messe 2014. 2014.
- [44] FCH JU. COMMERCIALISATION OF ENERGY STORAGE IN EUROPE [online]. 2015. Dostupné z: http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/CommercializationofEnergyStorageFinal_3.pdf
- [45] SKUPINA ČEZ. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- [46] Real interest rate (%) in Czech Republic [online]. Dostupné z: <http://www.tradingeconomics.com/czech-republic/real-interest-rate-percent-wbdata.html>
- [47] FUCHS, Georg, LUNZ, Benedikt, Matthias LEUTHOLD a Dirk Uwe SAUER. Technology Overview on Electricity Storage - Overview on the potential and on the deployment perspectives of electric storage technologies. Institute for Power Electronics and Electrical Drives (ISEA), RWTH Aachen University [online]. 2012, (June), 66
- [48] ŠVÁB, Michal. *TRENDY VE VÝVOJI VODÍKOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ VE SVĚTĚ A MOŽNOSTI UPLATNĚNÍ V ČESKÉ REPUBLICE* [online]. Praha: Česká energetická agentura, 2006, s. 85. Dostupné z: <http://mpo.efekt.cz>
- [49] SOMOLOVÁ, Markéta, DLOUHÝ, Petr. *Výroba vodíku* [online]. 2007. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/vyroba-vodiku/664-vyroba-vodiku>
- [50] DLOUHÝ, Petr, JANÍK, Luděk. *Transport a skladování vodíku* [online]. 2007. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/transport-a-skladovani-vodiku/618-skladovani-vodiku-i>
- [51] DLOUHÝ, Petr, JANÍK, Luděk. *Bezpečnost* [online]. 2007. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/bezpecnost/482-bezpecnost>
- [52] ZÜTTEL, Andreas. Hydrogen storage methods. *Naturwissenschaften* [online]. 2004, 91(4), 157–172. ISSN 0028-1042. Dostupné z: doi:10.1007/s00114-004-0516-x

- [53] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Hydrogen Production and Storage. R&D Priorities and Gaps. Hydrogen Implementing Agreement [online]. 2006, 13, 392–392. ISSN 036031řř. Dostupné z: doi:10.1016/0360-3199(88)90106-1
- [54] HAWKES, Adam, BRETT, Dan. Fuel Cells for Stationary Applications [online]. nedatováno [vid. 2017-04-12]. Dostupné z: https://iea-etsap.org/ETechDS/PDF/E13_STFuel_Cells_AH_Jan2013_Final_GSOK.pdf
- [55] Hydrogen storage. In: *Www.Geocities.ws* [online]. Dostupné z: http://www.geocities.ws/idrogeno_vettore/eimmagazz.htm
- [56] SSHR: Plníme požadavek EU na nouzové zásoby ropy a ropných produktů, může za to pokles ekonomiky [online]. Dostupné z: <https://www.sshr.cz/aktuality/sshr-plnime-pozadavek-eu-na-nouzove-zasoby-ropy-a-ropnych-produktu-muze-za-to-pokles-ekonomiky/>
- [57] Ropovodná síť v ČR [online]. Dostupné z: <https://www.ropa.cz/ropovodna-sit-v-cr/>
- [58] Statistika dovozu ropy do ČR [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/ropa-ropne-produkty/statistika-dovozu-ropy-do-cr--259953/>
- [59] Mapa ropovodů a produktovodů v ČR [online]. Dostupné z: <https://cappo.cz/cisla-a-fakta/mapa-ropovodu-a-produktovodu-vnbspcr>
- [60] Souhrnná energetická bilance České republiky. Ministerstvo průmyslu a obchodu. Únor 2021 [online]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/energeticke-bilance/souhrnna-energeticke-bilance-statu-v-metodice-eurostatu-za-leta-2010_2019--259237/

Autor:	doc. Ing. Jiří Míka, CSc. Ing. Silvie Petránková Ševčíková, Ph.D. Lukáš Míček
Katedra, institut:	Výzkumné energetické centrum Inovace pro efektivitu a životní prostředí
Název:	Bezpečnost v energetice
Místo, rok vydání:	Ostrava, 2021, 1. vydání
Počet stran:	60
Vydal:	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Tisk:	MORAVAPRESS s.r.o.
Náklad:	100 ks
Neprodejné	

Za obsah publikace jsou odpovědní autoři. Informace zde uvedené nejsou oficiálním stanoviskem orgánů Evropské unie.

ISBN 978-80-248-4553-1

ISBN 978-80-248-4553-1