

# Analýza technologického vývoje v oblasti energetické transformace



Ministerstvo životního prostředí

Tento projekt je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci Programu Prostor pro život.

[www.tacr.cz](http://www.tacr.cz) [www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)

Projekt: SS04030013 Centrum socio-ekonomického výzkumu dopadů environmentálních politik.

**Číslo výstupu: V75 (D4-4.1)**

**Typ výstupu: O – Ostatní výsledky**

**Projekt** SS04030013 Centrum socio-ekonomického výzkumu dopadů environmentálních politik

**Autoři** Ondřej Pokorný\*, Adél Kučera\*

\* Technologické centrum Praha

**Datum** 28. října 2025

**Citace** Pokorný, O., Kučera, A. (2025), Analýza technologického vývoje v oblasti energetické transformace. Zpráva projektu SEEPIA, Technologické centrum Praha

## EXECUTIVE SUMMARY

Komplexní analýza technologického vývoje v oblasti decentralizace energetiky, vycházející ze šesti datových zdrojů (vědecké publikace, patenty, projekty, technologická média a legislativní dokumenty), potvrzuje, že decentralizace představuje jeden z klíčových směrů současné energetické transformace. Její rozvoj je podmíněn konvergencí tří zásadních procesů – dekarbonizace, digitalizace a demokratizace energetických systémů. Tyto procesy společně přetvářejí energetiku směrem k lokálním, flexibilním a víceúrovňově řízeným strukturám, v nichž aktivně participují obyvatelé, obce, podniky i veřejné instituce.

### Hlavní zjištění

**Komunitní a sdílená energetika** se v českém kontextu rychle posouvá z pilotních projektů k praktické realizaci. Vznikají energetická společenství, mikrosítě a P2P platformy, které spojují technologické inovace s novými ekonomickými a společenskými modely. Klíčovou roli zde hraje implementace legislativní úpravy v rámci novelizace Energetického zákona (Lex OZE III), tj. převedení evropských směrnic (RED II, IEMD) do národního rámce a jejich uvedení do praxe prostřednictvím jasně definovaných práv a povinností pro komunitní subjekty. Tento krok zásadně ovlivní investiční prostředí a umožní vstup obcí, malých podniků i domácností do aktivní správy energetických toků.

**Akumulace energie a flexibilita sítě** představují technologický základ stability decentralizovaných systémů. Rychlý vývoj pokročilých baterií (Na-ion, flow, solid-state) a alternativních forem akumulace (LAES, Carnot) doplňuje rozvoj digitálních platform pro řízení flexibility (VPP, DR, V2X). Tyto technologie umožňují efektivní integraci proměnlivých OZE, snižují přetížení distribučních sítí a zvyšují energetickou bezpečnost.

**Rozvoj decentralizovaných obnovitelných zdrojů** se opírá o diverzifikaci technologií – od plovoucích fotovoltaických systémů po hybridní koncepty Power-to-X (PtX). Tyto zdroje rozšiřují možnosti lokální soběstačnosti, zlepšují bilanci emisí a přinášejí nové podnikatelské modely propojující energetiku s dopravou či průmyslem.

**Digitalizace a inteligentní řízení** tvoří základní platformu moderní energetické infrastruktury. Digitální dvojčata, umělá inteligence a pokročilé prediktivní algoritmy umožňují efektivní provoz decentralizovaných zdrojů, optimalizaci poptávky a předcházení poruchám. Významná je rovněž integrace IoT sensoriky a edge computingu, která zvyšuje autonomii lokálních sítí a efektivitu datového řízení.

**Kybernetická bezpečnost** se stává strategickým faktorem spolehlivosti decentralizovaných systémů. Rostoucí počet digitálně propojených zařízení vyžaduje nové přístupy k ochraně dat, autentizaci a prevenci útoků. Posiluje se trend směrem k proaktivním, samo-napravujícím se architekturám a k využívání anonymizovaných datových struktur při obchodování s energií.

**Odolnost a udržitelnost** jsou průřezovými principy celé transformace. Decentralizace vyžaduje modernizaci infrastruktury, řízení stability sítí a rozvoj cirkulární ekonomiky – zejména v oblasti recyklace baterií, využívání kritických surovin a opětovného použití komponent.

Výsledky ukazují, že úspěšná decentralizace je vícerozměrný proces, který spojuje technologické inovace s právním rámcem, investičními pobídkami a aktivní účastí lokálních aktérů. Česká republika má díky současným legislativním a dotačním iniciativám reálnou příležitost využít decentralizaci nejen jako prostředek dekarbonizace, ale i jako nástroj energetické suverenity, regionální prosperity a sociální koheze.

## Doporučení řešení oblasti decentralizace

Na základě syntézy výsledků analytických kapitol 8.1–8.6, které mapují technologické, institucionální a legislativní aspekty decentralizace, byla formulována následující doporučení. Vycházejí z identifikovaných trendů, bariér a příležitostí napříč klíčovými oblastmi – komunitní energetikou, akumulací a flexibilitou, decentralizovanými obnovitelnými zdroji, digitalizací, kybernetickou bezpečností a udržitelností. Každé doporučení vychází z konkrétních empirických zjištění a naznačuje, jak mohou technologické inovace, regulační rámce a investiční nástroje společně přispět k efektivní a spravedlivé energetické transformaci České republiky.

1. Zrychlit zavedení legislativní úpravy v rámci novelizace Energetického zákona (Lex OZE III) a souvisejících vyhlášek ERÚ.

Implementace Zákona je podmínkou pro praktické fungování energetických komunit. Analýza prokázala, že největší bariérou rozvoje decentralizace je regulační a administrativní zpoždění. Legislativní jistota umožní obcím a malým subjektům zahájit investice do mikrosítí a sdílené výroby.

2. Podpořit rozvoj komunitních mikrosítí, sdílených úložišť a agregátorů flexibility.

Tyto modely již dnes prokazují technickou i ekonomickou proveditelnost. Data ukazují, že mohou snížit energetické náklady o 10–15 % a zároveň zvýšit odolnost vůči výpadkům sítě. Jejich rozšiřování by mělo být prioritou programů Modernizačního fondu a NPO.

3. Investovat do pokročilých akumulačních technologií a nástrojů řízení flexibility.

S rostoucím podílem OZE je akumulace klíčová pro udržení stability sítě. Analýza potvrzuje, že diverzifikace (Li-ion, flow, second-life) a propojení s nástroji flexibility (VPP, DR, V2X) umožní integrovat až 30 % nestálých OZE bez nutnosti posilování centrálních zdrojů.

4. Rozšířit využití decentralizovaných OZE a sektorově integrovaných konceptů (dual-use, PtX).

Trendy ukazují, že hybridní projekty zvyšují efektivitu využití ploch a podporují sektorovou integraci. Podpora těchto řešení přispívá k vyšší míře soběstačnosti regionů a diverzifikaci zdrojů energie.

5. Posílit kybernetickou bezpečnost a datovou infrastrukturu decentralizovaných systémů.

Rostoucí digitalizace přináší nové zranitelnosti. Proaktivní ochrana IoT zařízení, certifikace softwaru a standardizace datových rozhraní jsou nezbytné pro udržení důvěry v decentralizované modely.

6. Podporovat cirkulární přístup v oblasti akumulace a kritických surovin.

Recyklace a repase baterií i komponent snižují environmentální dopady a rizika závislosti na dovozu surovin. Analýza identifikovala tuto oblast jako významnou podmínku dlouhodobé udržitelnosti decentralizace.

7. Modernizovat a digitalizovat distribuční infrastrukturu.

Přetížení a zastaralost distribučních sítí představují zásadní bariéru rozvoje decentralizace. Investice do chytrých sítí, prediktivní diagnostiky a lokální automatizace umožní bezpečné připojení nových zdrojů a stabilní provoz.

Z pohledu veřejné správy má decentralizace zásadní význam pro strategické řízení energetické transformace. Umožňuje propojit klimatické a inovační politiky, posílit energetickou bezpečnost na regionální úrovni a vytvářet nové ekonomické příležitosti v obcích a malých podnicích. Implementace doporučených opatření vyžaduje koordinaci mezi ministerstvy, samosprávami a regulačními institucemi a představuje klíčový krok k tomu, aby se Česká republika stala aktivním aktérem evropské energetické transformace – nikoli jejím pasivním příjemcem.

## OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Současné trendy relevantní pro oblast dekarbonizace .....	9
2.1	Globální situace a trendy.....	9
2.1.1	Globální trendy.....	10
2.1.2	Situace a trendy v České republice .....	11
3	Politické a strategické cíle v oblasti decentralizace.....	12
3.1	Evropské cíle.....	12
3.2	Národní cíle ČR.....	12
4	Evropská legislativa a směrnice pro oblast dekarbonizace .....	14
5	Národní legislativa a směrnice pro oblast decentralizace energetiky .....	15
6	Národní strategie a plány v ČR relevantní pro oblast decentralizace energetiky.....	16
7	Metodika identifikace nových technologií pro decentralizaci energetiky .....	17
7.1	Zdroje dat.....	17
7.2	Metodický přístup k identifikaci progresivních technologií.....	18
7.3	Rozdělení identifikovaných technologií.....	20
8	Nejvýznamnější technologické trendy v oblasti decentralizace .....	21
8.1	Komunitní a sdílená energetika .....	21
8.2	Skladování energie a flexibilita sítě .....	25
8.3	Decentralizované obnovitelné zdroje.....	29
8.4	Digitalizace a inteligentní řízení.....	33
8.5	Kybernetická bezpečnost a ochrana dat.....	37
8.6	Odolnost a udržitelnost energetických systémů.....	41
8.7	Shrnutí technologického vývoje v oblasti decentralizace .....	47
9	Závěr.....	48
10	Zdroje.....	52
	Příloha 1: Popis identifikovaných technologií.....	58
	Příloha 2: Doplnkové technologie a nástroje podpory decentralizace .....	61
	Komunitní a sdílená energetika.....	61
	Skladování energie a flexibilita sítě .....	65
	Decentralizované obnovitelné zdroje .....	69
	Digitalizace a inteligentní řízení .....	72
	Kybernetická bezpečnost a ochrana dat .....	76
	Odolnost a udržitelnost energetických systémů .....	79

## Seznam zkratk

<b>ADR</b>	Aggregated Demand Response	Agregované řízení poptávky
<b>AEL</b>	Alkaline Electrolyser	Alkalický elektrolyzér
<b>AI</b>	Artificial Intelligence	Umělá inteligence
<b>AI-air</b>	Aluminium–Air	Hliníkovo–vzduchová baterie
<b>BESS</b>	Battery Energy Storage System	Bateriové úložiště energie
<b>CEC</b>	Citizen Energy Community	Občanská energetická komunita
<b>DER</b>	Distributed Energy Resources	Decentralizované energetické zdroje
<b>DR</b>	Demand Response	Řízení poptávky
<b>e-CORDA</b>	Common Research Data Warehouse	Databáze EK o projektech rámcových programů
<b>EED</b>	Energy Efficiency Directive	Směrnice o energetické účinnosti
<b>EGS</b>	Enhanced Geothermal Systems	Pokročilé geotermální systémy
<b>EMS</b>	Energy Management System	System řízení energie
<b>ENISA</b>	European Union Agency for Cybersecurity	Agentura Evropské unie pro kybernetickou bezpečnost
<b>EPBD</b>	Energy Performance of Buildings Directive	Směrnice o energetické náročnosti budov
<b>ERÚ</b>		Energetický regulační úřad
<b>ESG</b>	Environmental, Social and Governance	Environmentální, sociální a správní faktory a používá se k hodnocení udržitelnosti a společenské odpovědnosti firem
<b>EV</b>	Electric Vehicle	Elektromobil
<b>FPV</b>	Floating Photovoltaics	Plovoucí fotovoltaika
<b>HSM</b>	Hardware Security Module	Hardwarový bezpečnostní modul
<b>IEA</b>	International Energy Agency	Mezinárodní agentura pro energii
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission	Mezinárodní elektrotechnická komise
<b>IEMD</b>	Internal Electricity Market Directive	Směrnice o vnitřním trhu s elektřinou
<b>IoT</b>	Internet of Things	Internet věcí
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change	Mezivládní panel pro změnu klimatu
<b>IRENA</b>	International Renewable Energy Agency	Mezinárodní agentura pro obnovitelnou energii
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro standardizaci
<b>JRC</b>	Joint Research Centre	Společné výzkumné středisko Evropské komise
<b>LAES</b>	Liquid Air Energy Storage	Úložiště energie na principu zkapalněného vzduchu
<b>Lex OZE II</b>		Novela energetického Zákona č. 458/2023 Sb. O podpoře OZE

<b>LFP</b>	Lithium Iron Phosphate	Lithium-železo-fosfátová baterie
<b>Li-ion</b>	Lithium-ion	Lithium-iontová baterie
<b>MPO</b>		Ministerstvo průmyslu a obchodu
<b>Na-S</b>	Sodium–Sulphur battery	Sodíkovo-sírová baterie
<b>NIST</b>	National Institute of Standards and Technology	Národní institut pro standardy a technologie (USA)
<b>NKEP</b>		Národní klimaticko-energetický plán
<b>NMC</b>	Nickel Manganese Cobalt Battery	Nikl-mangan-kobaltová baterie
<b>NPO</b>		Národní plán obnovy
<b>OP TAK</b>		Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost.
<b>OZE</b>		Obnovitelné zdroje energie
<b>PATSTAT</b>	Worldwide Patent Statistical Database	Databáze Evropského patentového úřadu
<b>PEM</b>	Proton Exchange Membrane	Protonová polymerní membrána
<b>PLC</b>	Power Line Communication	Komunikace přes elektrické vedení
<b>POK</b>		Politika ochrany klimatu
<b>PtX</b>	Power-to-X	Přeměna elektřiny na jiný energetický nosič (vodík, paliva, teplo)
<b>PV</b>	Photovoltaics	Fotovoltaika
<b>QKD</b>	Quantum Key Distribution	Kvantová distribuce klíčů
<b>REC</b>	Renewable Energy Community	Komunita obnovitelných zdrojů
<b>RED II</b>	Renewable Energy Directive	Směrnice o využívání energie z OZE
<b>RIV (IS VaVal)</b>		Rejstřík informací o výsledcích Informačního systému vavai
<b>SCADA</b>	Supervisory Control and Data Acquisition	Dispečerský řídicí systém
<b>SEK</b>		Státní energetická koncepce
<b>SFŽP</b>		Státní fond životního prostředí
<b>SIEM</b>	Security Information and Event Management	Management bezpečnostních a informačních událostí
<b>SOEC</b>	Solid Oxide Electrolyser Cell	Elektrolyzér s pevnou oxidemickou membránou
<b>SSI</b>	Self-Sovereign Identity	Technologie decentralizované digitální identity
<b>TEN-E</b>	Trans-European Energy Networks	Směrnice/nařízení k páteřní energetické infrastruktuře
<b>TLS</b>	Transport Layer Security	Protokol pro zabezpečenou komunikaci
<b>UKEN</b>		Unie komunitní energetiky
<b>V2X</b>	Vehicle-to-Everything (např. V2G)	Technologie pro bezdrátovou komunikaci vozidla (včetně energetické sítě)
<b>VPN</b>	Virtual Private Network	Virtuální privátní síť

<b>VPP</b>	Virtual Power Plant	Virtuální elektrárna
<b>WoS</b>	Web of Science	Databáze vědeckých publikací
<b>Zero Trust</b>		Model kybernetické bezpečnosti IT systémů, jehož návrh a implementace je založen na nedůvěře k uživatelům.
<b>Zn-air</b>	Zink-Air	Zinkovo-vzduchová baterie

# 1 Úvod

Česká republika stojí před zásadní proměnou svého energetického systému. Vysoký podíl fosilních paliv v energetickém mixu, stárnoucí infrastruktura a rostoucí tlak na naplňování klimatických cílů EU vyžadují přehodnocení dosavadního přístupu k výrobě, distribuci i spotřebě energie. Jedním z nejdůležitějších a zároveň nejkompaktnějších trendů, které tento proces formují, je decentralizace energetiky – tedy přechod od centralizované, jednostranně řízené soustavy k vícevrstvé, distribuované a participativní síti aktérů.

Tento trend se projevuje napříč celým systémem: vznikají energetická společenství, rozvíjí se lokální výroba a sdílení energie, akumulární technologie zvyšují flexibilitu domácností i firem a klíčovou úlohu získávají digitální nástroje pro řízení spotřeby a distribuce. Zároveň se proměňuje role obyvatel i samospráv – z pasivních příjemců energie se stávají aktivními účastníky rozhodovacích procesů i energetického podnikání.

V českém kontextu je decentralizace obzvláště relevantní z několika důvodů:

- Silná lokální struktura obcí a měst, které mají potenciál stát se klíčovými hráči v rozvoji komunitní energetiky.
- Vysoký podíl individuálního bydlení, umožňující rozvoj malovýroby a akumulace.
- Rostoucí zájem části veřejnosti a samospráv o energetickou soběstačnost a odolnost vůči cenovým výkyvům a geopolitickým rizikům.

Tato zpráva si klade za cíl zmapovat současné i nastupující trendy v oblasti decentralizované energetiky v České republice, identifikovat klíčové technologie, systémy a institucionální změny, které tento vývoj umožňují. Opírá se o syntézu dat z různorodých zdrojů – od vědeckých publikací a technologických patentů až po odborný tisk a veřejně dostupné projekty – a nabízí analytický rámec pro pochopení směřování decentralizace energetiky v českém prostředí. Zároveň ukazuje, jaké nové výzvy a příležitosti tento vývoj přináší pro veřejný i soukromý sektor.

## 2 Současné trendy relevantní pro oblast dekarbonizace

### 2.1 Globální situace a trendy

Decentralizace energetiky představuje zásadní strategický posun od tradičních modelů založených na centralizované výrobě elektřiny – typicky z velkých elektráren – k flexibilním, lokálně řízeným a propojeným systémům. Jejím jádrem je rozvoj obnovitelných zdrojů energie, zejména solárních a větrných technologií, které jsou instalovány v měřítku domácností, podniků či obcí. Tyto zdroje doplňují systémy akumulace a inteligentní distribuční infrastruktura, jež umožňují efektivní řízení výroby, spotřeby i sdílení energie v reálném čase<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/194853/120490096.pdf?isAllowed=y&sequence=1&>

## 2.1.1 Globální trendy

Pod tlakem geopolitických rizik a ambiciózních klimatických cílů se decentralizace energetiky stává globálním standardem. Distribuované zdroje (DZ) – solární panely, bateriové systémy či kogenerační jednotky – posilují energetickou odolnost díky nižší závislosti na centrálních soustavách. Pokles cen technologií, zejména fotovoltaických panelů a akumulátorů, výrazně zvyšuje jejich dostupnost pro domácnosti, podniky i místní komunity. Současně se prosazují inovativní koncepty, jako je peer-to-peer obchodování s energií nebo virtuální elektrárny, které umožňují efektivní řízení lokálních sítí a monetizaci flexibilních zdrojů<sup>2</sup>.

Technologie blockchain a umělá inteligence postupně získávají zásadní význam při zajišťování komplexního řízení, transparentního obchodování a optimalizace výroby i spotřeby energie v rámci inteligentních sítí. Umožňují vznik nových modelů interakce mezi tzv. prosumery – subjekty, které zároveň energii vyrábějí i spotřebovávají – a podporují efektivní a bezpečné fungování decentralizovaných energetických ekosystémů<sup>3</sup>. Klíčovou roli v tomto procesu hraje také koncept energy democracy<sup>4</sup>, který propojuje přechod na obnovitelné zdroje s posílením společenské a komunitní participace na rozhodování i spoluvlastnictví energetické infrastruktury. Rozvíjejí se koncepty energetických komunit, mikrosítí, virtuálních elektráren či peer-to-peer obchodování s elektřinou, které umožňují efektivnější využívání lokálních zdrojů a zapojují široké spektrum aktérů do tvorby hodnoty v rámci energetického systému.

Evropská unie jednoznačně podporuje rozvoj decentralizovaných energetických modelů – prostřednictvím balíčku Clean Energy for All Europeans, zavedením CEC a REC (občanských a obnovitelných energetických komunit) a podporou více než 3 500 komunitních projektů směřujících k vytvoření diverzifikovaného a společností řízeného energetického sektoru.

K hlavním hybným silám decentralizace energetiky patří:

- Rychlý rozvoj obnovitelných zdrojů energie – zejména fotovoltaiky a větrné energie, které jsou modulární, škálovatelné a vhodné pro lokální instalace.
- Pokles nákladů na technologie – ceny solárních panelů, bateriových úložišť i inteligentních řídicích systémů v posledních letech výrazně klesly.
- Digitalizace a chytré sítě (smart grids) – umožňují efektivní řízení decentralizovaných zdrojů, agregaci flexibility a obchodování s energií v reálném čase.
- Proměna role spotřebitelů – jednotlivci, obce i podniky se stávají aktivními účastníky energetického trhu s možností vyrábět, uchovávat a prodávat energii.
- Rostoucí důraz na energetickou bezpečnost a odolnost – decentralizace přispívá ke zkrácení dodavatelských řetězců, diverzifikaci zdrojů a snižování závislosti na centralizovaných systémech.

Současně však decentralizace přináší i nové výzvy – zejména v oblasti stability sítě, regulace trhu, kybernetické bezpečnosti a spravedlivé alokace nákladů na infrastrukturu. Vyžaduje proto transformaci regulačního rámce a nové vymezení rolí tradičních aktérů, včetně provozovatelů distribučních soustav, kteří se z pasivních správců infrastruktury postupně stávají aktivními koordinátory decentralizovaných zdrojů a uživatelů.

---

<sup>2</sup> <https://arxiv.org/abs/1810.09859?utm>

<sup>3</sup> <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/vaclav-skoblik-do-ceska-prichazi-komunitni-energetika-jaka-vidim-jeji-negativa>

<sup>4</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_democracy](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_democracy)

## 2.1.2 Situace a trendy v České republice

V ČR nabývá decentralizace energetiky na významu především v souvislosti s rozvojem komunitní energetiky, rozšiřováním instalací domácích a firemních fotovoltaických systémů a postupným formováním legislativního rámce, který umožňuje sdílení energie mezi jednotlivými subjekty.

Zájem o vlastní výrobu energie z obnovitelných zdrojů v posledních letech prudce roste – a to jak mezi domácnostmi, tak podniky a obcemi, které hledají cestu k vyšší energetické soběstačnosti, stabilním nákladům a větší odolnosti vůči tržním výkyvům<sup>5</sup>. Tento trend je urychlován rostoucími cenami energií, dostupnými dotačními programy – například Modernizačním fondem či programem Nová zelená úsporám – a také zvyšujícím se povědomím o významu energetické udržitelnosti a suverenity.

Nově je přijatá novela Energetického zákona (Lex OZE III)<sup>6</sup>, otevírá cestu ke sdílení energie mezi více subjekty v rámci jedné lokality. Tento legislativní rámec umožňuje vznik energetických družstev, komunitních mikrosítí či bytových domů s vlastní výrobou a sdílením elektřiny, čímž vytváří základ pro širší zapojení obyvatel i institucí do energetické transformace.

Současné distribuční soustavy však na rychlý rozvoj decentralizace narážejí svou technickou i regulační nepřipraveností. Dochází k přetěžování některých částí sítě, což vyvolává potřebu nových investic do řízení toků energie, digitalizace a akumulčních technologií. Rozvoj lokálních bateriových úložišť, řízení flexibility a chytré infrastruktury je proto klíčovým předpokladem pro zvládnutí rostoucí míry decentralizace<sup>7</sup>.

Z pohledu veřejné správy a samospráv představuje decentralizace příležitost k posílení energetické soběstačnosti, většímu zapojení obyvatel do energetického plánování a vytváření lokálních ekonomických přínosů – například prostřednictvím snížení nákladů, návratnosti investic či vzniku nových podnikatelských modelů.

Pro průmysl a podniky znamená decentralizace možnost optimalizace energetických nákladů, lepší předvídatelnosti výdajů a vyšší odolnosti vůči výpadkům dodávek.

Celkově je decentralizace jedním z klíčových pilířů energetické transformace, dekarbonizace a energetické bezpečnosti – zejména v kontextu posilování odolnosti vůči geopolitickým šokům, jakým byla například ruská agrese na Ukrajině.

<sup>5</sup> <https://www.businessinfo.cz/clanky/komunitni-energetika-v-cesku-na-rozcesti-podari-se-nastartovat-sdileni-elektriny/>

<sup>6</sup> Lex OZE II (novela energetického zákona č. 458/2000 Sb. a zákona č. 165/2012 Sb., účinná od 1. ledna 2024) již upravuje základní rámec komunitní energetiky, zejména možnost sdílení elektřiny v rámci jednoho odběrného místa a instituty aktivního zákazníka a agregátora flexibility. Aktuálně se připravuje navazující legislativní úprava (tzv. „zákon o komunitní energetice“ / Lex OZE III), která má plně implementovat evropské směrnice RED II (2018/2001/EU) a IEMD (2019/944/EU) a umožnit sdílení energie mezi více subjekty a lokalitami. <https://mpo.gov.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/poslanci-schvalili-novelu-lex-oze-iii--ktera-modernizuje-ceskou-energetiku--286440/>

<sup>7</sup> [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/roland\\_berger\\_the\\_future\\_of\\_europes\\_decentralized\\_energy\\_market\\_1.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_the_future_of_europes_decentralized_energy_market_1.pdf)

## 3 Politické a strategické cíle v oblasti decentralizace

Politické a strategické cíle decentralizace energetiky vycházejí jak z evropských energetických balíčků, tak z národních strategií České republiky. Společným jmenovatelem těchto dokumentů je posílení energetické resilience, soběstačnosti, udržitelnosti a participace společnosti na přechodu k modernímu, decentralizovanému energetickému systému.

### 3.1 Evropské cíle

EU podporuje decentralizaci energetiky nejen jako nástroj dekarbonizace, ale také jako prostředek k posílení energetické bezpečnosti a společenské participace. Základem balíčku Clean Energy for All Europeans je vytvoření legislativního rámce pro vznik energetických komunit – Citizen Energy Communities (CEC) a Renewable Energy Communities (REC). Oba tyto modely podporují lokální vlastnictví, demokratické řízení a aktivní zapojení občanů s cílem dosahovat společenských a environmentálních přínosů, nikoli pouze finančního zisku<sup>8</sup>. Na strategické úrovni je pro EU klíčovou prioritou integrace decentralizovaných obnovitelných zdrojů a flexibilních energetických mechanismů do vnitřního trhu s elektřinou. Cílem je posílení systémové energetické autonomie, soběstačnosti a odolnosti evropského energetického prostoru<sup>9</sup>.

Evropská iniciativa REPowerEU si klade za cíl diverzifikovat energetické zdroje, zvyšovat energetické úspory, urychlit rozvoj čistých technologií a snížit závislost na dovozu ruského plynu. Mezi konkrétní cíle patří snížení konečné spotřeby energie přibližně o 12 % do roku 2030 a výrazné urychlení investic do obnovitelných zdrojů i akumulčních technologií, které posílí stabilitu a udržitelnost evropského energetického systému<sup>10</sup>. Součástí širšího strategického rámce je také Clean Industrial Deal, jehož cílem je instalovat až 100 GW nových obnovitelných kapacit ročně do roku 2030, podpořit cirkulární využívání materiálů a snížit výrobní náklady čisté energie s cílem posílit konkurenceschopnost evropského průmyslu.

V neposlední řadě se EU zaměřuje na posilování geopolitické autonomie, založené na nižší závislosti na dovozech ze zranitelných geografických oblastí. Decentralizovaný systém obnovitelných zdrojů a akumulace energie je v tomto kontextu považován za klíčový pilíř evropské energetické bezpečnosti a strategické suverenity<sup>11</sup>.

### 3.2 Národní cíle ČR

Stávající strategické dokumenty ČR v oblasti energetiky, jako je Státní energetická koncepce nebo Vnitrostátní plán v oblasti energetiky a klimatu (NECP)<sup>12</sup>, kladou důraz na rozvoj decentralizovaných obnovitelných zdrojů a inteligentních sítí. Jejich cílem je zvýšit podíl domácí výroby energie, modernizovat distribuční infrastrukturu a posílit komunitní energetiku a flexibilitu jako klíčové nástroje energetické bezpečnosti.

<sup>8</sup> [https://commission.europa.eu/system/files/2020-10/ener\\_sp\\_2020\\_2024\\_en.pdf](https://commission.europa.eu/system/files/2020-10/ener_sp_2020_2024_en.pdf)

<sup>9</sup> [https://commission.europa.eu/system/files/2020-10/ener\\_sp\\_2020\\_2024\\_en.pdf](https://commission.europa.eu/system/files/2020-10/ener_sp_2020_2024_en.pdf)

<sup>10</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629623001949>

<sup>11</sup> <https://publyon.com/the-shifting-geopolitics-of-energy-implications-for-the-eu-and-its-businesses/>

<sup>12</sup> <https://mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2024/12/Vnitrostatni-plan-Ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu-prosinec-2024.pdf>

Mezi prioritní cíle patří odklon od uhlí do roku 2033 a podpora obnovitelných zdrojů a jaderné energie jako základních pilířů národní energetické soustavy, doplněných decentralizovanými zdroji pro zvýšení odolnosti systému.

Česká republika rovněž podporuje rozšiřování kapacit energetických úložišť – například prostřednictvím státní dotace ve výši 279 milionů EUR (odpovídající přibližně 1 500 MWh), která má posílit stabilitu elektrizační soustavy v podmínkách rostoucího zastoupení decentralizovaných zdrojů energie (DER)<sup>13</sup>.

Strategickým cílem je rovněž urychlení povolovacích procesů prostřednictvím tzv. akceleračních oblastí<sup>14</sup>, které mají zjednodušit a zrychlit výstavbu fotovoltaických a větrných elektráren v předem určených lokalitách s nižší administrativní zátěží. Tyto oblasti využívají předběžnou strategickou environmentální analýzu (SEA), která může nahradit individuální EIA pro jednotlivé projekty<sup>15</sup>. Cílem je zároveň usnadnit propojení decentralizovaných zdrojů mimo centrální přenosovou síť a podpořit komunitní energetiku, čímž se posílí lokální soběstačnost a odolnost vůči výpadkům či extrémním jevům<sup>16</sup>.

Strategický rámec decentralizace energetiky, tak jak jej formuluje Evropská unie i Česká republika, stojí na několika vzájemně provázaných pilířích:

1. Posílení energetické bezpečnosti

Základním cílem je diverzifikace zdrojů, budování akumulčních kapacit a rozvoj lokálně řízených systémů výroby a spotřeby energie. Decentralizované systémy snižují závislost na centrální infrastruktuře a zvyšují odolnost vůči výpadkům a krizovým situacím, čímž posilují celkovou stabilitu energetické soustavy.

2. Podpora energetických komunit

Klíčovým prvkem je rozvoj modelů sdílené výroby a spotřeby energie, v nichž se spotřebitelé stávají aktivními účastníky trhu. Energetické komunity (CEC/REC) představují nástroj pro snižování emisí, zvyšování účinnosti a zároveň posilování místní ekonomiky a společenské participace.

3. Akcelerace výstavby obnovitelných zdrojů a akumulací

Tento pilíř zahrnuje zjednodušení povolovacích procesů, investiční pobídky a zřizování akceleračních zón. Cílem je odstranit administrativní bariéry, které zpomalují rozvoj decentralizovaných řešení, a vytvořit stabilní a atraktivní investiční prostředí.

4. Modernizace distribuční soustavy a rozvoj inteligentních sítí (smart grids)

Moderní infrastruktura umožňuje efektivní řízení decentralizovaných zdrojů, agregaci flexibility a obchodování s energií v kratších časových intervalech. Digitalizace distribuční sítě je nezbytným předpokladem pro integraci rostoucího počtu malých výrobců a optimalizaci spotřeby v reálném čase.

5. Rovnováha mezi efektivitou, dekarbonizací a konkurenceschopností

---

<sup>13</sup> <https://strategicenergy.eu/279-million-aid-czechia-energy-storage-capacity/>

<sup>14</sup> <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=249&r=2025>

<sup>15</sup> <https://interreg-danube.eu/projects/nrgcom/news/legislative-developments-in-the-czech-republic-opportunities-and-gaps-for-renewable-energy-communities>

<sup>16</sup> <https://axevera.com/en/2025/04/23/energy-transition-and-legislative-reforms-in-the-czech-republic-a-focus-on-renewables-and-gas/>

Posledním pilířem je nalezení rovnováhy mezi energetickou účinností, snižováním emisí a udržením ekonomické konkurenceschopnosti. Tento přístup odráží evropské priority vycházející ze Zelené dohody pro Evropu a průmyslové transformace, přičemž respektuje specifika národního energetického mixu.

Decentralizace energetiky tak představuje zásadní krok k modernizaci národního energetického systému, posílení energetické suverenity a přechodu k udržitelnému hospodářskému modelu.

## 4 Evropská legislativa a směrnice pro oblast dekarbonizace

Evropská legislativa představuje základní rámec, v jehož mezích musí všechny členské státy postupovat při modernizaci a transformaci svých energetických systémů. V kontextu decentralizace má tento rámec zásadní význam – nejenže otevírá prostor pro rozvoj nových forem výroby, spotřeby a sdílení energie, ale zároveň ukládá státům povinnost aktivně podporovat společenskou a komunitní participaci, flexibilitu sítí a digitalizaci energetického sektoru.

Evropská politika se tím stává hlavním hybatelem přechodu decentralizace z úrovně strategických vizí do konkrétních tržních a institucionálních struktur.

Hlavní legislativní opatření Evropské unie jsou uvedena níže::

- **Směrnice o vnitřním trhu s elektřinou (EU 2019/944)**<sup>17</sup> zavedla koncept „aktivního zákazníka“ a definovala občanské energetické komunity (CEC). Tím zakotvila právo domácností, obcí i podniků vyrábět, sdílet a prodávat elektřinu, čímž otevřela prostor pro demokratizaci energetiky. Z pohledu decentralizace jde o zásadní krok: spotřebitel přestává být pasivním odběratelem a stává se aktérem trhu.
- **Směrnice o obnovitelných zdrojích (RED II a RED III)**<sup>18,19</sup> stanovuje jasnou podporu pro vznik komunit obnovitelných zdrojů (REC). Členské státy musí aktivně odstraňovat bariéry, zjednodušovat administrativu a umožňovat přímé zapojení lokálních aktérů. Tento rámec má klíčový význam pro vznik družstevních a obecních projektů v ČR.
- **Nařízení o řízení energetické unie (EU 2018/1999)**<sup>20</sup> ukládá státům povinnost zakomponovat decentralizaci do národních plánů (NECP). Tím se zajišťuje, že decentralizace není pouze možností, ale povinnou součástí národní strategie.
- **Směrnice o energetické účinnosti (EED)**<sup>21</sup> a **Směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD)**<sup>22</sup> posouvají decentralizaci do každodenní praxe: kladou důraz na chytré technologie, zapojení spotřebitelů a využívání OZE v budovách, které představují klíčové místo spotřeby energie.

<sup>17</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32019L0944>

<sup>18</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>

<sup>19</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32023L2413>

<sup>20</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32018R1999>

<sup>21</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32012L0027>

<sup>22</sup> <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/ces>

- Další opatření, jako **Nařízení TEN-E<sup>23</sup>** nebo **sítové kodexy<sup>24</sup>** (Network Codes) podporují rozvoj decentralizované infrastruktury a integraci flexibilních zdrojů.

Evropská legislativa vyvíjí na členské státy silný tlak k podpoře decentralizace – nikoli pouze na formální úrovni, ale i v rámci praktické implementace. Pro Českou republiku to znamená nutnost upravit právní rámec, vytvořit vhodné regulační prostředí a modernizovat distribuční soustavy tak, aby umožňovaly aktivní zapojení obyvatel, obcí a komunit do energetického systému.

Tento proces zároveň přináší řadu příležitostí: vznik nových tržních modelů, posílení energetické soběstačnosti lokálních celků a zvýšení odolnosti vůči krizovým situacím. Hlavní výzvou však zůstává tempo transpozice evropských směrnic a schopnost jejich praktické implementace bez nadměrné administrativní zátěže.

## 5 Národní legislativa a směrnice pro oblast decentralizace energetiky

Česká republika v posledních letech postupně začleňuje principy decentralizace do svého právního a regulačního rámce. Tento vývoj je reakcí jak na evropské legislativní požadavky, tak na rostoucí poptávku veřejnosti, obcí i podniků po větší energetické soběstačnosti a odolnosti vůči cenovým i geopolitickým šokům.

Legislativa v této oblasti hraje zásadní roli – určuje pravidla přístupu na trh, možnosti sdílení energie i způsoby zapojení komunit a jednotlivců do řízení a provozu energetických sítí. Hlavní legislativní normy a jejich přínos k rozvoji decentralizace jsou uvedeny níže::

- **Novela Energetického zákona<sup>25</sup>** (Lex OZE II) (Zákon č. 469/2023 Sb., novela účinná od roku 2024) představuje první zásadní krok k decentralizaci v ČR. Umožnila sdílení elektřiny v rámci jednoho odběrného místa (např. bytových domů) a vytvořila základní rámec pro budoucí energetická společenství. Zavedla také institut agregace flexibility – nezbytný prvek pro řízení decentralizovaných zdrojů.
- **Novela Energetického zákona (Lex OZE III)<sup>26</sup>** (Zákon č. 87/2025 Sb.) přijatá v březnu 2025 má plně implementovat evropské směrnice (RED II, IEMD) a umožnit vznik právně definovaných energetických komunit (REC a CEC). Zákon má řešit formy organizace, pravidla sdílení energie, vztahy s distributory a přístup k síti. Jeho přijetí bude znamenat zásadní zlom, neboť dá komunitám právní subjektivitu a jasná pravidla fungování.
- **Vyhlášky Energetického regulačního úřadu<sup>27</sup>** (ERÚ) jsou klíčové pro praktickou realizaci. Stanovují technické podmínky připojení, pravidla měření a rozúčtování elektřiny či tarifní struktury. Tyto detaily rozhodují o tom, zda se decentralizace stane běžnou praxí, nebo zůstane spíše na pilotní úrovni.

<sup>23</sup> <https://eur-lex.europa.eu/CS/legal-content/summary/eu-guidelines-for-developing-the-trans-european-transport-network.html>

<sup>24</sup> <https://eur-lex.europa.eu/CS/legal-content/summary/network-code-on-electricity-emergency-and-restoration.html>

<sup>25</sup> <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2023-469/zneni-20240701>

<sup>26</sup> <https://mpo.gov.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/poslanci-schvalili-novelu-lex-oze-iii--ktera-modernizuje-ceskou-energetiku--286440/>

<sup>27</sup> <https://www.eru.cz/legislativa>

- **Zákon o podpoře obnovitelných zdrojů<sup>28</sup>** (č. 165/2012 Sb.) i nadále poskytuje ekonomickou podporu malým výrobnám (výkupní ceny, zelené bonusy). V posledních novelizacích se více zaměřuje na menší, lokální výrobce, což podporuje rozvoj decentralizovaných modelů.
- **Zákon o urychlení využívání některých obnovitelných zdrojů energie<sup>29</sup>** (č. 249/2025 Sb.), který zavádí opatření ke zjednodušení a zrychlení povolovacích procesů pro projekty obnovitelných zdrojů energie (OZE) v České republice. Transponuje příslušné předpisy EU, zavádí nové nástroje pro efektivnější rozvoj zelené energetiky. Vymezuje nezbytné a akcelerační oblasti (geograficky vymezené oblasti, které jsou z hlediska ochrany životního prostředí a dalších veřejných zájmů považovány za zvláště vhodné pro umístování obnovitelných zdrojů), kde budou povolovací řízení výrazně zjednodušena. Dále upravuje i vymezení oblastí nezbytných pro integraci energie z obnovitelných zdrojů do elektrizační soustavy.

Regulační prostředí v České republice se v oblasti decentralizace postupně konsoliduje, avšak zatím zůstává v přechodném období mezi legislativním základem a praktickou implementací. Lex OZE II vytvořil základní podmínky pro rozvoj decentralizace, avšak její skutečný posun bude záviset na rychlém přijetí novely Energetického zákona (Lex OZE III) a na modernizaci prováděcích vyhlášek Energetického regulačního úřadu (ERÚ).

Budoucnost decentralizace v České republice tak nezávisí pouze na legislativních změnách, ale především na jejich efektivní implementaci a na schopnosti propojit právní rámec s technickými možnostmi distribučních sítí. Pokud se podaří odstranit administrativní bariéry a zajistit rovný přístup k síti, může se Česká republika stát aktivním lídrem v rozvoji komunitní energetiky.

## 6 Národní strategie a plány v ČR relevantní pro oblast decentralizace energetiky

Strategické dokumenty vymezují dlouhodobý směr rozvoje české energetiky a představují klíčové propojení mezi evropskými cíli a specifiky národního energetického systému. V oblasti decentralizace mají zásadní význam – určují priority financování, vytvářejí podmínky pro investory a stanovují úroveň ambicí, s jakou se Česká republika zapojuje do přechodu na nízkouhlíkovou a vícevrstvou energetiku. Hlavní politiky a strategické dokumenty jsou uvedeny níže:

- **Národní klimaticko-energetický plán<sup>30</sup>** (NKEP / NECP): stanovuje cíle do roku 2030, včetně zvýšení podílu OZE a rozvoje komunitní energetiky. Dokument reflektuje decentralizaci jako jednu z cest k dosažení klimatických závazků, ale čelí kritice Evropské komise za nedostatečnou konkrétnost, chybějící milníky a pomalý postup při odbourávání administrativních bariér.
- **Státní energetická koncepce<sup>31</sup>** (SEK) a **Politika ochrany klimatu** (POK): jsou v procesu aktualizace. Oba dokumenty začínají více zohledňovat potřebu

<sup>28</sup> <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>

<sup>29</sup> <https://www.e-sbirka.cz/sb/2025/249?zalozka=dalsiInformace>

<sup>30</sup> <https://energie21.cz/vlada-schvalila-narodni-klimaticko-energeticky-plan/>

<sup>31</sup> <https://mpo.gov.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vychodiska-aktualizace-statni-energeticke-koncepce-cr-a-souvisejicich-strategickych-dokumentu--273672/>

decentralizace, digitalizace a komunitní energetiky. SEK i POK však zatím spíše rámcově popisují směr, než aby poskytovaly jasný harmonogram a konkrétní implementační kroky.

- Programy financování a podpory: **Modernizační fond**<sup>32</sup>, **Národní plán obnovy**<sup>33</sup>, **Programy SFŽP**<sup>34</sup> či **OP TAK** podporují instalaci obnovitelných zdrojů, akumulace a vznik komunitních projektů. V roce 2023 například vznikla **Unie komunitní energetiky**<sup>35</sup> (UKEN), která sdružuje obce, spolky i firmy a prosazuje jejich zájmy.

Strategické dokumenty i zaváděná opatření potvrzují, že decentralizace je v České republice vnímána jako klíčový pilíř energetické transformace. Hlavní problém však spočívá v nesouladu mezi deklarovanými cíli a jejich praktickým naplňováním. Nedostatek konkrétních kroků, slabá meziresortní koordinace a zdlouhavé administrativní procesy ohrožují efektivní realizaci stanovených opatření.

Klíčovou výzvou zůstává zajištění koordinace a dostupnosti podpůrných nástrojů pro menší aktéry, kteří často postrádají kapacity či zkušenosti s přípravou a řízením projektů. Pokud se podaří propojit legislativní rámec s finančními pobídkami a vzdělávacími iniciativami, může se decentralizace stát skutečným základem moderního, odolného a společensky řízeného energetického systému.

## 7 Metodika identifikace nových technologií pro decentralizaci energetiky

### 7.1 Zdroje dat

Pro zpracování analýz byla využita aktuální statistická data a další údaje z veřejně dostupných databází a informačních zdrojů i z placených databází, ke kterým má Technologické centrum Praha (TCP) zajištěn přístup. Mezi nejvýznamnější zdroje využité při řešení tohoto výstupu patří:

- Centrální evidence projektů Informačního systému výzkumu, experimentálního vývoje a inovací (CEP IS VaVal)<sup>36</sup>.
- Rejstřík informací o výsledcích Informačního systému výzkumu, experimentálního vývoje a inovací (RIV IS VaVal)<sup>37</sup>.
- Informační databáze Evropské komise e-CORDA (COmmon Research DATawarehouse) o projektech podpořených v rámcových programech EU (e-CORDA)<sup>38</sup>.
- Databáze publikací Clarivate Analytics Web of Science (WoS)<sup>39</sup>.

<sup>32</sup> <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/>

<sup>33</sup> <https://planobnovy.gov.cz/>

<sup>34</sup> <https://mzp.gov.cz/cz/pro-media-a-verejnost/aktuality/archiv-tiskovych-zprav/komunitni-energetika-je-o-krok-bliz-do>

<sup>35</sup> <https://www.bvv.cz/urbis/aktuality/komunitni-energetika-bude-tematem-konference-urbis-2025>

<sup>36</sup> <https://www.isvavai.cz/>

<sup>37</sup> <https://www.isvavai.cz/>

<sup>38</sup> e-CORDA, DG Research and Innovation, European Commission

<sup>39</sup> <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/>

- Databáze patentových přihlášek Evropského patentového úřadu PATSTAT (EPO Worldwide Patent Statistical Database) publikovaná na podzim roku 2023<sup>40</sup>.
- Další akademické zdroje (popsané níže).

Pro identifikaci nových technologií pro dekarbonizaci v datových zdrojích byl využit soubor klíčových slov a sousloví a jejich logických kombinací. Klíčová slova a sousloví v anglickém jazyce byla vyhledávána v názvech a abstraktech projektů, publikací a patentových přihlášek. V případě projektů byla tato slova a sousloví také vyhledávána v klíčových slovech zadaných jejich navrhovateli.

Klíčová slova využitá pro vyhledávání vycházejí z informací o problematice decentralizace a progresivních technologií v odborných studiích, analýzách a dalších dokumentech, které charakterizují zkoumanou oblast. Základ tvoří klíčová slova, která byla využita v technologicky zaměřených analýzách zpracovaných TCP v minulosti.

Při návrhu klíčových slov bylo snahou, aby záznamy nalezené v databázích pokrývaly maximální část dané problematiky, a zároveň obsahovaly minimální počet „falešných“ záznamů, které nesouvisí s danou problematikou. Z tohoto důvodu byly výběry prověřeny na náhodně vybraných záznamech s využitím chatbotu Chat GPT v placené verzi a klíčová slova byla podle jejich výsledků modifikována. Z kontroly náhodně vybraných záznamů vyplývá, že podíl chybných záznamů je menší než 10 % (v většině případů pod 5 %). Nastavení relativně přísných podmínek výběru však může způsobit, že výběr záznamů nemusí pokrývat danou problematiku zcela kompletně. Z tohoto důvodu je nutné brát porovnávání absolutních hodnot s jistou rezervou.

## 7.2 Metodický přístup k identifikaci progresivních technologií

Pro analýzu a vyhodnocení nastupujících směrů trendů v progresivních technologiích v oblasti decentralizace byly využity dvě metody – vyhodnocení vývoje výskytu slov a sousloví charakterizujících progresivní technologie v patentových přihláškách, vědeckých člancích a projektových návrzích a vyhodnocení současných témat v technologicky zaměřených médiích.

Při vyhodnocení vývoje výskytu slov/sousloví byla v patentových přihláškách, vědeckých člancích a projektových návrzích explorativní metodou identifikována slova a sousloví, která jsou pro dekarbonizaci významově nosná, a zároveň má jejich výskyt dostatečně výraznou intenzitu. U těchto slov a sousloví pak byl zaznamenán počet patentových žádostí, počet vědeckých článků a počet projektových návrhů, ve kterých se v jednotlivých letech vyskytují, dále byly zohledněny meziroční výkyvy výskytu. Výsledné hodnoty byly následně normalizovány proporčním škálováním (normalizovaná intenzita 100 znamená maximální intenzitu výskytu nejčastějšího slova nebo sousloví). Vyhodnocení vývoje výskytu slov/sousloví bylo provedeno v období let 2018 až 2022. Trendy slov a sousloví jsou pouze za indikativní, za změnami v trendu mohou stát nejen technologické důvody, ale i důvody jazykové (např. posun významu s narůstáním složitosti technologie, ústup od užívání některých slov a zkratk, nadužívání momentálně populárních termínů apod.).

V analýze současných témat směřování technologií v oblasti decentralizace byly hodnoceny články ve vybraných technologických médiích v období říjen 2023–květen 2024. Jednalo se o technologická média ve čtyřech kategoriích: média z akademické sféry, technologická média,

<sup>40</sup> <https://www.epo.org/en/searching-for-patents/business/patstat>

technologické rubriky význačných tradičních médií a zprávy ohledně politik EU ve vztahu k technologiím (seznam využitých technologických médií je uveden v seznamu použitých zdrojů), při výběru jednotlivých technologických médií pro analýzu byl kladen důraz nikoli na kvantitu, ale na progresivní přístup vybraného média k technologiím). Za každou kategorii byl vyhodnocen reprezentativní vzorek článků a byla identifikována hlavní témata v těchto článcích obsažená. Identifikování témat bylo provedeno s pomocí velkého jazykového modelu Gemini 1.5 společnosti Google, který umožňuje vyhodnotit stovky až tisíce článků najednou.

Odhadování provozních (Opex) a investičních (Capex) nákladů na nové technologie pro dekarbonizaci představuje složitý proces. Důvodem je skutečnost, že odhad nákladů na jednotlivé technologie se liší v závislosti na fázi vývoje dané technologie, infrastrukturu a specifických potřebách její implementace. Technologie, které jsou v rané fázi výzkumu a vývoje, mohou mít vyšší investiční náklady kvůli nutnosti vývoje prototypů a pilotních projektů. Naopak technologie, které jsou již komerčně dostupné, mohou mít nižší investiční náklady, ale vyšší provozní náklady, pokud vyžadují pravidelnou údržbu nebo výměnu jednotlivých komponent.

Při odhadování nákladů je nutné brát v úvahu nejen přímé náklady, jako jsou ceny materiálů, výstavby a vybavení, ale i nepřímé faktory, jako jsou vývojová rizika, dodavatelské řetězce, změny v cenách surovin a geopolitické vlivy. Tyto faktory se velmi špatně predikují, což činí odhady ještě složitějšími.

Odhad provozních nákladů, které zahrnují údržbu, zaměstnanecké náklady, ceny energií atd., často podléhají dynamice vývoje v různých lokalitách, technologických specifikacích a řízení jednotlivých projektů nebo aplikacích technologie. Provozní náklady jsou navíc často ovlivněny regulacemi a politickými opatřeními v jednotlivých zemích, což zvyšuje nejistotu a činí odhady obtížně odhadnutelné.

Dalším problémem je dostupnost spolehlivých veřejně dostupných informačních zdrojů pro analýzu investičních a provozních nákladů. Globální organizace, jako Mezinárodní energetická agentura, Světová banka, Bloomberg New Energy Finance nebo McKinsey & Company poskytují data, která jsou často agregovaná na globální úrovni, což ne vždy reflektuje regionální rozdíly nebo specifické technologie. Zprávy Evropské komise o klimatické politice poskytují odhady nákladů na jednotlivé technologie v evropském kontextu, data Světové banky jsou často zaměřeny na rozvojové země, což přináší další specifika.

Každý zdroj informací využívá různou metodiku sběru dat o nákladech a odhadu jejich vývoje, což vede k rozdílným výsledkům. McKinsey & Company nebo IEA se často zaměřují na velké makroekonomické přístupy a modely, zatímco data v odborných časopisech se více zaměřují na konkrétní případy nebo malé pilotní projekty. Metodologická různorodost pak přináší bariéry v konsistentním odhadu nákladů na pořízení a provoz technologií.

Celkově je proces odhadování investičních a provozních nákladů nejen komplexní, ale vyžaduje průběžné sledování změn v čase. Aby bylo možné dosáhnout co nejpřesnějších odhadů, je nutné pracovat s různými zdroji dat, přizpůsobovat metodiky a neustále aktualizovat odhady na základě nejnovějších informací a výzkumů. Výsledky odhadu investičních a provozních nákladů na jednotlivé technologie mají proto spíše orientační povahu.

Pro získání podrobnějšího členění investičních a provozních nákladů na identifikované technologie a využitelnost těchto informací pro kvantitativní modelování scénářů decentralizace bylo proto nutné využít dalších metodických nástrojů a rozšíření využití datových zdrojů. K tomu byla využita interní databáze vědeckých článků a předplacené internetové databáze vědeckých článků, ke kterým má TCP přístup. Pro procházení obsahu

dostupných vědeckých článků bylo nutné využít pokročilé metody pro sběr a analýzu dat – web scraping a textovou analýzu získaných dat. Web scraping je proces automatizovaného sběru dat z dostupných webových stránek a za využití specializovaných programů jsou extrahována data. Tato technika umožňuje shromažďovat rozsáhlé množství informací o CAPEX a OPEX z různých databází online zdrojů. Následná textová pak slouží k identifikaci relevantních údajů, jejich kategorizaci a interpretaci, což výrazně usnadňuje odhad nákladů mezi různými segmenty technologiemi.

Implementace těchto metod vyžaduje technické znalosti v oblasti programování a zpracování dat, avšak přináší značné výhody v podobě rychlého a efektivního získávání aktuálních informací. Při využívání webu scrapingu je však nutné dbát na právní a etické aspekty, zejména respektování autorských práv a podmínek užívání jednotlivých webových stránek. Správně aplikované techniky web scrapingu a textové analýzy tak umožní přesnější zjišťování informací při odhadu CAPEX a OPEX jednotlivých technologií.

Pro získávání informací z webových zdrojů byl využit programovací jazyk Python a jeho knihovny, zejména Requests, BeautifulSoup a Pandas. Requests umožňuje stahování obsahu internetových stránek, resp. článků. BeautifulSoup umožňuje extrakci dat ze souborů HTML a XML podle předem definovaných kritérií. Knihovna Pandas umožňuje převést extrahovaná data do datového rámce a následně je uložit do formátu CSV. Před spuštěním skriptu bylo ověřeno, zda cílová stránka povoluje automatizované stahování dat a zda neporušuje její podmínky užívání. Tento požadavek nebyl nutný pro články uložené v interních databázích. Výstupy této analýzy zjišťování investičních a provozních nákladů jednotlivých technologií jsou podrobně uvedeny v následující kapitole.

### 7.3 Rozdělení identifikovaných technologií

Identifikované technologie byly z důvodu hodnocení očekávaného vývoje a jejich využití v energetických modelech rozděleny do dvou základních kategorií, které umožňuje pracovat s technologiemi konzistentně, s ohledem na jejich roli v energetickém systému a na typ technických parametrů, které je u nich možné kvantifikovat.

Primární technologie představují infrastrukturu, která přímo určuje energetickou bilanci decentralizovaných soustav. Jedná se o technologie schopné samostatně vyrábět, ukládat, přeměňovat nebo distribuovat energii, přičemž jejich výkon, kapacita či účinnost jsou měřitelné ve standardních energetických jednotkách (kW, kWh, MW, cykly, účinnost). Do této skupiny spadají například mikrosítě umožňující lokální řízení výroby a spotřeby, dlouhodobé akumulární technologie nebo obnovitelné zdroje nové generace. Podobně sem patří také technologie využívané v průmyslových procesech. Tyto technologie tvoří jádro decentralizovaných energetických systémů, neboť fyzicky určují, kolik energie je možné vyrobit, uskladnit či lokálně spotřebovat. Do primární kategorie mohou patřit i některé digitální technologie, pokud mají přímý dopad na fyzické energetické toky a jsou modelovány jako součást systémové logiky decentralizace – například peer-to-peer platformy, které umožňují vznik lokálních trhů s energií a přímo ovlivňují bilanční vztahy mezi výrobcí a spotřebiteli.

Naproti tomu doplňkové technologie představují digitální, řídicí, bezpečnostní a analytickou vrstvu systému. Samy o sobě energii nevyrábějí ani neukládají, ale zajišťují, aby primární fyzická infrastruktura fungovala efektivně, bezpečně a flexibilně. Jejich úkolem je optimalizovat provoz, snižovat ztráty, chránit data a řízení systému, zvyšovat predikční přesnost či zajišťovat vysokou míru automatizace. Patří sem technologie jako systémy energetického

managementu, systémy kybernetické bezpečnosti či nástroje pro anonymizaci dat a bezpečné sdílení informací. Tyto technologie pracují s jiným typem parametrů – místo výkonu a kapacity je charakterizují hodnoty jako latence, přesnost predikce, úroveň bezpečnosti, počet připojených zařízení, datový tok nebo míra automatizace. Jejich ekonomické parametry se obvykle vztahují k projektu, uživateli či počtu zařízení, nikoli k energetickým jednotkám.

Ačkoli doplňková kategorie zahrnuje převážně digitální, datové, bezpečnostní a řídicí nástroje, objevují se v ní také technologie, které mají infrastrukturní povahu – například menší bateriová úložiště integrovaná primárně do řídicích platform, lokální senzory s vlastním energetickým zdrojem nebo zařízení potřebná pro provoz prediktivních či zabezpečovacích systémů. Tyto technologie však nejsou zařazeny jako primární, protože jejich účel není určovat výkon nebo kapacitu energetického systému ani zásadně ovlivňovat jeho energetickou bilanci. Jejich hlavní funkce je podpůrná: zajišťují komunikaci, monitoring, datové zpracování, zabezpečení nebo lokální regulaci, případně doplňují fyzickou infrastrukturu o nové schopnosti (např. rychlejší odezvu, vyšší spolehlivost či přesnější predikci). Z hlediska modelování a rozhodování o investicích proto nevytvářejí samostatné energetické toky, ale umožňují efektivnější využití primárních technologií. Přestože jde často o důležité komponenty systémů, jejich význam pro energetickou bilanci a kapacitní dimenzování je menší než u primárních technologií, což odůvodňuje jejich zařazení mezi doplňkové prvky.

Zatímco primární technologie je možné přímo využívat jako vstupy do energetických modelů, doplňkové technologie vstupují do modelování nepřímo – jako parametry zvyšující efektivitu, bezpečnost, flexibilitu či spolehlivost systému. Umožňuje to jasně oddělit fyzikální limity infrastruktury od funkčních možností její optimalizace a řízení. Zároveň toto členění odráží reálnou strukturu decentralizovaných energetických projektů, které jsou tvořeny dvěma vzájemně provázanými vrstvami: fyzickou (zdroje, baterie, kabeláž, měniče, elektrolyzéry, tepelné technologie) a digitálně-řídicí (EMS, datové platformy, bezpečnostní prvky, simulační a prediktivní nástroje). Primární technologie určují, co je systém fyzicky schopen dělat, zatímco doplňkové technologie určují, jak dobře, efektivně a bezpečně těchto schopností dokáže využívat.

## 8 Nejvýznamnější technologické trendy v oblasti decentralizace

### 8.1 Komunitní a sdílená energetika

Komunitní a sdílená energetika představuje základní pilíř decentralizovaného energetického systému. Umožňuje aktivní zapojení domácností, obcí, malých podniků i veřejných institucí do výroby, spotřeby a sdílení energie. Tím posiluje energetickou soběstačnost regionů, snižuje závislost na centrálních zdrojích a zároveň podporuje lokální ekonomiku.

Základní infrastrukturou komunitní energetiky jsou mikrosítě, které propojují lokální obnovitelné zdroje, akumulární systémy a inteligentní řízení spotřeby do soběstačných celků. Umožňují provoz v ostrovním režimu při výpadku centrální sítě a zvyšují tak odolnost i efektivitu celého systému. Tyto sítě doplňují sdílená bateriová úložiště (community batteries), která umožňují efektivní využití lokálně vyrobené elektřiny, zvyšují míru vlastní spotřeby a zajišťují stabilnější lokální energetickou bilanci.

S rozvojem chytrých sítí a digitalizace se prosazují P2P a VPP platformy, které propojují výrobce, spotřebitele i agregátory a umožňují přímé obchodování s energií v reálném čase.

Tyto digitální systémy podporují efektivní využití flexibility a vytvářejí základy pro nové tržní modely, založené na sdílení a spolupráci.

Součástí komunitní energetiky jsou také dynamické tarify a flexibilní cenové modely, které motivují uživatele k posunu spotřeby do období vyšší dostupnosti obnovitelných zdrojů. V kombinaci s chytrým měřením umožňují řízení poptávky a optimalizaci lokální spotřeby bez nutnosti rozsáhlých investic do infrastruktury.

Komunitní modely navíc přinášejí významný sociální a ekonomický rozměr – podporují vznik lokálních společenství, zvyšují akceptaci obnovitelných zdrojů a posilují důvěru mezi účastníky. Nové formy participace, jako jsou crowdfundingové projekty, lokální investiční platformy nebo gamifikace spotřeby, zvyšují angažovanost společnosti a přispívají k demokratizaci přístupu k energetickým zdrojům.

Komunitní a sdílená energetika se tak stává nejen technickým, ale i společenským fenoménem, který propojuje výrobu, spotřebu, digitalizaci a nové ekonomické modely do jednoho integrovaného rámce.

Hlavní technologické směry v této oblasti zahrnují:

- Mikrosítě a komunitní úložiště – lokální propojení výroby, spotřeby a akumulace energie s možností ostrovního provozu.
- P2P a VPP platformy – digitální tržiště pro sdílení energie a agregaci flexibility mezi účastníky sítě.
- Dynamické tarify a řízení poptávky – nástroje pro flexibilní spotřebu energie a optimalizaci lokální bilance.
- Participativní a ekonomické modely – komunitní investování, crowdfunding, gamifikace a nové přístupy k vlastnictví energetických aktiv.

**Tabulka 1: Celková charakteristika identifikovaných technologií v oblasti Komunitní a sdílená energetika**

Oblast	Technologie	Popis	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Životnost (v letech)	Zdroj
Komunitní energetika	Mikrosítě (C&I / komunitní) / Microgrids (C&I / Community)	Lokální systémy propojující výrobu, akumulaci a spotřebu energie s možností ostrovního provozu.	Typická velikost: 100 kW – 3 MW Účinnost řídicího systému: 92–98 % Krytí spotřeby: 40–80 % Režim ostrovního provozu: 4–12 h	1925 €/kW	39 €/kW/rok	20–25	<a href="#">IEA (2024). Mini-grids Market Report 2024</a>
	Sdílené akumulční systémy (Community BESS)	Lokální úložiště sdílené mezi více uživateli, zvyšující míru vlastní spotřeby v komunitách.	Typická velikost: 0,2–2 MWh Účinnost: 85–92 % Životnostní cykly: 4 000–8 000 Roční degradace: 1–2 %	256 €/kWh	4 €/kWh/rok	10–15	<a href="#">ARENA (2020). Community Batteries: A Cost Benefit Analysis. Australian Renewable Energy Agency.</a>
	P2P platformy pro sdílení energie / P2P Energy Sharing Platforms	Digitální tržiště umožňující přímou výměnu energie mezi účastníky mikrosítě.	Typická velikost: 50–1 000 uživatelů Transakční kapacita: 50–200 transakcí/den Latence systému: <1 s Míra automatizace: 60–90 %	88 €/uživatel	12 €/uživatel/rok	8–12	<a href="#">IRENA (2020). Innovation landscape brief: Peer-to-peer electricity trading. International Renewable Energy Agency.</a>
	Cenově-signální řízení poptávky (Dynamické tarify) / Price-Signal Demand Management	Systémy měnící cenu elektřiny podle zatížení sítě a dostupnosti OZE, motivující spotřebitele k flexibilitě.	Typická velikost: 100–5 000 účastníků Elasticita spotřeby: 5–20 % Snížení špičky: 3–10 % Podíl zapojených spotřebičů: 20–50 %	193 €/uživatel	74 €/uživatel/rok	10–15	<a href="#">MODECO. modelling study on the role of energy communities in the energy transition. Publications Office of the European Union, 2023</a>

Zdroj: Vlastní zpracování

Rozdíly v investičních nákladech u technologií komunitní energetiky vyplývají především z jejich měřítka a úrovně automatizace. Základní varianty se uplatňují v menších obcích, komunitách či pilotních projektech, kde je cílem zejména sdílení vyrobené energie a základní řízení spotřeby. Naopak pokročilé systémy jsou určeny pro větší celky nebo kritickou infrastrukturu, kde je nezbytná vysoká spolehlivost, bezpečnost a napojení na dispečerské řízení či energetické trhy.

**Tabulka 2: Charakteristika dolní a horní hranice investičních nákladů (CAPEX) podle typu realizace**

Technologie	Dolní hranice CAPEX – charakter instalace	Horní hranice CAPEX – charakter instalace
Mikrosítě (1400-2450 €/kW)	Menší nízkonapěťová mikrosítě s instalovaným výkonem kolem 100–200 kW, např. pro obecní školu nebo úřad. Obsahuje fotovoltaické panely a baterii, ale bez možnosti ostrovního provozu. Komponenty jsou standardní, řízení je pouze základní.	Plně vybavená ostrovní mikrosítě určená pro kritickou infrastrukturu (např. nemocnici nebo průmyslový areál). Kombinuje fotovoltaiku, baterie a kogeneraci, má redundantní dispečerské řízení, kybernetickou ochranu a může fungovat i při výpadku sítě.
Sdílené akumulční systémy (BESS) (224-287 €/kWh)	Menší komunitní baterie s kapacitou 200–400 kWh v kontejnerovém provedení. Používá běžné LiFePO <sub>4</sub> články a je napojená na lokální fotovoltaiku. Vhodná pro sdílení energie mezi několika objekty.	Velký komunitní systém s kapacitou přes 2 MWh, vybavený aktivním chlazením, pokročilým řízením výkonu a napojením na virtuální elektrárnu nebo mikrosítě. Nabízí vysoký stupeň bezpečnosti a vzdálený monitoring.
P2P platformy (35-140 €/uživatel)	Lokální pilotní systém, který umožňuje výměnu energie mezi desítkami uživatelů v rámci komunity. Funguje na open-source softwaru a není certifikován pro obchodování s elektřinou.	Komerční regionální platforma pro stovky až tisíce uživatelů, postavená na licencovaném softwaru. Umožňuje automatizované obchodování s energií, je napojena na distribuční síť (DS) a obsahuje fakturační modul a uživatelské rozhraní.
Dynamické tarify / Demand management (105-280 €/uživatel)	Jednoduché systémy řízení spotřeby, např. domácí řízení ohřevu vody nebo nabíjení baterií podle aktuálního tarifu. Fungují bez pokročilé analytiky.	Komplexní systémy pro řízení flexibility sítě, které využívají algoritmy predikce spotřeby, automatické rozhodování a spolupracují s centrálním moderátorem flexibility. Umožňují optimalizovat zatížení sítě i cenu elektřiny.

Zdroj: Vlastní zpracování

Vývojové trendy v oblasti komunitní a sdílené energetiky a jejich vazba na decentralizaci:

### 1. Hybridní energetické komunity („elektřina + teplo + mobilita“)

- Směřování vývoje míří k propojení fotovoltaiky, nízkoteplotních tepelných sítí páté generace (5GDHC) a technologií Vehicle-to-Grid (V2G) do integrovaného komunitního ekosystému.
- Posílení energetické soběstačnosti, snižování závislosti na centrálních sítích a podpora vzniku fyzické infrastruktury pro lokální energetické propojení.

### 2. Elektromobilita jako prvek energetické flexibility

- Elektromobily se stávají součástí komunitních energetických systémů, kde umožňují obousměrné toky energie mezi vozidly a sítí (V2G).

- Elektromobilita umožňuje novou úroveň decentralizované flexibility a pomáhají snižovat náklady na stacionární bateriová úložiště.

### 3. Komunitní trhy a digitální platformy

- Lokální energetické trhy (P2P, VPP) proměňují uživatele z pasivních odběratelů na aktivní účastníky trhu s energií.
- Tyto platformy umožňují přechod decentralizace z technické na ekonomickou úroveň, čímž vznikají komunitní trhy podporující lokální obchodování a sdílení energie.

### 4. Data-driven řízení spotřeby

- Dynamické tarify a řízení poptávky (demand response) umožňují flexibilní reakci na signály z energetických sítí v reálném čase.
- Decentralizace se tak projevuje i na úrovni chování jednotlivých uživatelů, kteří aktivně optimalizují svou spotřebu podle aktuálních podmínek sítě.

### 5. Democratizace investic a vlastnictví

- Crowdfundingové a lokální investiční platformy posilují sociální rozměr decentralizace – komunity sdílejí nejen energii, ale také vlastnictví a ekonomické přínosy projektů.
- Tento model podporuje finanční inkluzi, místní prosperitu a dlouhodobou udržitelnost komunitních projektů.

## Potenciál pro aplikaci technologií v ČR

Komunitní a sdílená energetika představuje přímou cestu k praktické decentralizaci energetiky. Česká republika má pro její rozvoj mimořádně příznivé podmínky – vysoký podíl individuálního bydlení, hustou síť obcí s vlastní infrastrukturou a rostoucí zájem obyvatel i samospráv o energetickou soběstačnost. Probíhající novelizace Energetického zákona (Lex OZE III) zásadně rozšiřuje možnosti lokální výroby a sdílení energie, čímž otevírá prostor pro vznik stovek nových komunitních projektů.

Z technologického hlediska je tento segment již připraven na rychlou expanzi – mikrosítě, sdílená bateriová úložiště (BESS) i P2P platformy jsou komerčně dostupné a lze je efektivně nasadit v komunitách i menších městech. Hlavní bariérou však zůstává regulační nejistota a omezená kapacita distribučních sítí, které zatím nejsou plně přizpůsobeny dvousměrným tokům energie.

Z ekonomického pohledu může rozvoj komunitní energetiky přinést úspory až 15 % nákladů na elektřinu v obcích a malých podnicích a zároveň zvýšit podíl domácí výroby na celkové spotřebě energie. Z hlediska sociálních dopadů posiluje místní ekonomiky – investice i zisky zůstávají v regionu, podporují zaměstnanost a rozvoj lokálních služeb.

Do roku 2035 lze očekávat, že komunitní energetické projekty budou pokrývat 20–30 % spotřeby elektřiny v menších sídlech, čímž se stanou významným pilířem české decentralizované energetiky.

## 8.2 Skladování energie a flexibilita sítě

Skladování energie a flexibilita sítě představují jeden z klíčových pilířů transformace moderní energetiky. Umožňují integraci vysokého podílu obnovitelných zdrojů energie, jejichž výroba je proměnlivá a obtížně předvídatelná, do stabilního a spolehlivého energetického systému.

Rozvoj akumulčních technologií a mechanismů flexibilního řízení výroby i spotřeby je nezbytný pro udržení rovnováhy mezi výrobou, poptávkou a stabilitou sítě.

Moderní bateriová úložiště hrají v této transformaci zásadní roli. Umožňují ukládání přebytečné elektřiny v době vysoké výroby z obnovitelných zdrojů a její využití v době špičkové poptávky. Krátkodobé akumulace stabilizují frekvenci a napětí, zatímco dlouhodobé systémy přispívají k sezónnímu vyrovnavání energetické bilance. Technologie akumulace přitom procházejí rychlým vývojem – vedle tradičních lithiových baterií se prosazují vanadiové redoxní flow baterie s dlouhou životností a second-life systémy, které využívají repasované baterie z elektromobilů a přinášejí ekonomicky i environmentálně výhodné řešení.

Význam získávají i alternativní formy akumulace, jako jsou tepelné systémy (LAES, Carnot baterie) či geochemické úložiště energie, vhodné zejména pro průmyslové a sektorově integrované aplikace. Tyto technologie rozšiřují možnosti akumulace mimo elektrickou síť a přispívají k dekarbonizaci teplárenství a průmyslu.

Flexibilita sítě však nespočívá pouze v technologiích pro ukládání energie, ale také na straně poptávky. Řízení zátěže (Demand Response, DR) umožňuje aktivní zapojení spotřebitelů do vyvažování soustavy prostřednictvím změny spotřeby podle aktuální situace v síti. Virtuální elektrárny (VPP) pak agregují stovky menších zdrojů, úložišť a spotřebitelů do jednotného řídicího celku, který může poskytovat služby výkonové rovnováhy a optimalizovat lokální energetickou bilanci.

Podpůrnou úlohu sehrávají algoritmy prediktivního řízení a digitální dvojčata, jež využívají data z chytrých měřičů, senzorů a meteorologických modelů k předpovědi výroby i poptávky. Díky nim lze optimalizovat využívání akumulace, předcházet přetížení sítě a zvyšovat provozní efektivitu.

Skladování energie a flexibilita tak tvoří základní infrastrukturu pro stabilní a efektivní provoz decentralizovaných energetických soustav. Umožňují hladké začlenění obnovitelných zdrojů, snižují závislost na fosilních rezervních kapacitách a posilují ekonomickou i provozní efektivitu energetického systému.

Hlavní technologické směry této oblasti zahrnují:

- Bateriová úložiště (Li-ion, vanadiová, second-life) – krátkodobá i dlouhodobá akumulace elektrické energie pro stabilizaci a optimalizaci provozu sítě.
- Alternativní formy akumulace (LAES, Carnot, geochemická úložiště) – dlouhodobé a sektorově integrované technologie vhodné pro průmyslové aplikace.
- Flexibilita na straně poptávky (DR, VPP, V2X) – aktivní řízení odběru a agregace zdrojů a spotřebičů do jednotné řídicí platformy pro vyvažování soustavy.

**Tabulka 3: Celková charakteristika identifikovaných technologií v oblasti Skladování energie a flexibilita sítě**

Oblast	Technologie	Popis	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Životnost (v letech)	Zdroj
Akumulace	Li-ion BESS (4h, komerční) / Li-ion Battery Energy Storage (4h, Commercial)	Centrální systémy pro akumulaci energie, zajišťující stabilizaci sítě a vyrovnavání špiček.	Typická velikost: 5–50 MW / 20–200 MWh Účinnost: 88–93 % Cykly: 3 000–7000 Degradace: 1,5–2,5 %/rok Reakční doba: <1 s	1960 €/kW	27 €/kW/rok	20–25	<a href="#">Cole, W. &amp; Frazier, A. (2025). Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage: 2025 Update. NREL/TP-6A40-93281</a>
	Vanadiová flow baterie / Vanadium Flow Battery	Dlouhoživotnostní systémy pro dlouhodobé skladování a stabilizaci.	Typická velikost: 1–20 MW / 4–80 MWh Účinnost: 70–83 % Cykly: >15 000 Degradace: <0,5 /rok Hloubka vybíjení: 100 %	252 €/kWh	4 €/kWh/rok	10–15	<a href="#">IRENA (2022). Electricity Storage Valuation Framework.</a>
	Second-life EV baterie / Second-life EV Batteries	Repasované baterie z elektromobilů využívané jako ekonomické akumulační systémy.	Typická velikost: 250 kW – 2 MW / 500 kWh – 4 MWh Zbytková kapacita: 70–85 % Cykly: 1 000–3000 Degradace: 3–5%/rok Účinnost: 80–90 %	192500 €/systém	15400 €/systém/rok	8–12	<a href="#">IEA (2023). Global EV Outlook 2023 – Battery Reuse and Recycling Section.</a>
Flexibilita	Virtuální elektrárna (VPP) / Virtual Power Plant (VPP)	Agregace mnoha distribuovaných zdrojů, úložišť a spotřebitelů pro poskytování flexibility.	Typická velikost: 10–100 MW agregované flexibility Latence systému: <1s Přesnost predikce: 85–95% Modularita: 100–5 000 zapojených jednotek	280000 €/projekt	98000 €/projekt/rok	10–15	<a href="#">IRENA (2023). Innovation Landscape Brief: Virtual Power Plants</a>
	Agregovaný Demand Response (ADR) / Aggregated Demand Response (ADR)	Koordinované řízení spotřeby pomocí agregátorů na základě signálů o stavu sítě.	Typická velikost: 1–50 MW flexibilního výkonu Doba aktivace: 5–15 min Elasticita spotřeby: 5–25 % Počet účastníků: 200–20 000	1960 €/kW	27 €/kW/rok	20–25	<a href="#">Ahmed, E.M (2023): Comprehensive Analysis of Demand Response Pricing Strategies in a Smart Grid Environment Using Particle Swarm Optimization and the Strawberry Optimization Algorithm. Mathematics 2021, 9, 2338.</a>

Zdroj: Vlastní zpracování

Technologie s nižší úrovní investičních nákladů představují menší, jednodušší a cenově dostupnější řešení, často využívaná v pilotních projektech nebo v menších podnicích a komunitách.

Naopak investičně náročnější varianty odpovídají plně rozvinutým a profesionálním systémům, které jsou certifikované, vysoce automatizované a mohou být napojeny na širší distribuční či přenosovou síť. Tyto systémy nabízejí vyšší úroveň spolehlivosti, bezpečnosti a provozní flexibility, a jsou proto vhodné pro kritickou infrastrukturu nebo komerční využití ve větším měřítku.

**Tabulka 4: Charakteristika dolní a horní hranice investičních nákladů (CAPEX) podle typu realizace**

Technologie	Dolní hranice CAPEX – charakter instalace	Horní hranice CAPEX – charakter instalace
Li-ion BESS (1400–2520 €/kW)	Kontejnerové bateriové úložiště s kapacitou 0,5–1 MWh, využívající bezpečné LFP články pro krátkodobé ukládání energie a vyrovnávání spotřeby elektřiny. Neobsahuje aktivní chlazení, takže má nižší cenu, ale je vhodné spíše pro méně náročný provoz.	Systém s modernějšími NMC články, vybavený aktivním chlazením, systémem řízení (EMS) a certifikací pro poskytování podpůrných služeb v síti. Nabízí vyšší spolehlivost a bezpečnost.
Vanadiová flow baterie (210-295) €/kWh	Malé zkušební zařízení o výkonu kolem 100 kW, které ukládá energii pomocí tekutých elektrolytů. Systém je jednoduchý, bez rekuperace tepla, vhodný pro pilotní projekty.	Plnohodnotné průmyslové zařízení (1–5 MW) s vyšší koncentrací elektrolytu, rekuperací tepla a pokročilým řízením. Umožňuje dlouhodobé skladování energie a má delší životnost.
Second-life baterie (35000-350000 €/systém)	Menší lokální úložiště z repasovaných baterií z elektromobilů (0,2–0,5 MWh). Je levné, ale bez záruky a s kratší životností.	Certifikované úložiště vyrobené z repasovaných baterií s ověřenou kapacitou a životností. Nabízí modulární konstrukci, monitoring a aktivní chlazení.
Virtuální elektrárna (175000-368500 €/projekt)	Menší systém pro agregaci několika výrobců energie (např. solárních a kogeneračních jednotek) o výkonu do 10 MW. Umožňuje základní predikci výroby a omezené řízení.	Plně automatizovaný systém s umělou inteligencí, který propojuje desítky zdrojů energie a baterií do jednoho celku. Umožňuje poskytovat regulační služby a řídit spotřebu v reálném čase.
ADR (1400-2500 €/kW)	Pilotní projekt zaměřený na řízení spotřeby v menší průmyslové zóně nebo městě (do 5 MW). Testuje reakci odběratelů na cenové signály.	Rozsáhlý regionální nebo národní program, který propojuje více agregátorů a komunikuje v reálném čase s distribuční sítí. Umožňuje dynamicky vyvažovat spotřebu v celé oblasti.

Zdroj: Vlastní zpracování

Vývojové trendy v oblasti skladování energie a flexibility sítí a jejich vazba na decentralizaci:

### 1. Diverzifikace akumulčních technologií

- Dochází k posunu od dominance lithiových baterií (Li-ion) k novým chemickým a fyzikálním principům, jako jsou sodíkové (Na-ion), zinkovzdušné (Zn-Air), kapalno-vzduchové systémy (LAES), Carnot baterie nebo gravitační úložiště.
- Decentralizace umožňuje lokální volbu technologie podle konkrétního účelu, dostupných zdrojů a geografických podmínek – každý uzel sítě tak může optimalizovat vlastní typ úložiště pro zajištění rovnováhy a stability.

## 2. Propojení sektorů a sezónní flexibilita

- Rozvoj dlouhodobé akumulace otevírá cestu od čistě elektrických k multi-energetickým komunitám, které integrují elektřinu, teplo i plyn do jednoho systému.
- Principy decentralizace se rozšiřují i do teplárenství a průmyslové energetiky, čímž vznikají propojené sektory schopné sdílet a vyrovnávat energii mezi médii.

## 3. Digitální vrstva řízení a autonomie sítí

- Umělá inteligence a digitální dvojčata umožňují prediktivní řízení výroby, spotřeby i akumulace a podporují autonomní rozhodování jednotlivých uzlů bez nutnosti centrálního dispečinku.
- Posiluje se koncept „self-balancing grid cells“ – tedy lokálních samovyvažujících se celků, které tvoří základní stavební jednotku decentralizované stability.

## 4. Flexibilita spotřebitelů jako nový zdroj

- Demand Response (DR) a Virtuální elektrárny (VPP) propojují desítky tisíc zařízení a spotřebičů do jednotného virtuálního zdroje, který může reagovat na potřeby sítě v reálném čase.
- Z pasivních odběratelů se stávají aktivní účastníci energetického trhu, přispívající ke stabilitě systému a efektivnímu využití decentralizovaných zdrojů – to představuje zásadní posun v pojetí energetické flexibility.

## Potenciál pro aplikaci technologií v ČR

Akumulace energie je nezbytným předpokladem rozvoje decentralizovaných energetických systémů. Rozvoj Li-ion a vanadiových flow baterií, ale také repasovaných „second-life“ baterií z elektromobilů umožňuje stabilizaci místních sítí a vyšší využití elektřiny z OZE. V Česku tyto technologie rychle expandují – zejména v průmyslových areálech a komunitních projektech, které řeší problémy přetížení distribuční sítě a vysokých odběrových špiček.

Rozšíření akumulačních kapacit může do roku 2030 umožnit integrovat až 30 % nestálých OZE, aniž by bylo nutné významně navyšovat kapacitu centrálních zdrojů. Klíčovou roli bude zároveň hrát rozvoj flexibility na straně poptávky (Demand Response) a virtuálních elektráren (VPP), které dosud v Česku nejsou využívány systematicky. Tyto nástroje umožní firmám i domácnostem aktivně reagovat na cenové signály a zapojit se do řízení soustavy, což je plně v souladu s cíli iniciativy REPowerEU.

Významný je také ekonomický potenciál – instalace úložišť v měřítku MW může snížit roční náklady na distribuci, zkrátit špičkovou fázi odběru a zvýšit lokální stabilitu. Pro urychlení komercializace těchto technologií je však klíčová státní podpora – ať už prostřednictvím Modernizačního fondu, nebo nových tarifů za flexibilitu, které mohou vytvořit motivující podmínky pro širší nasazení akumulačních technologií zvyšující flexibilitu sítě.

## 8.3 Decentralizované obnovitelné zdroje

Decentralizované obnovitelné zdroje představují základní stavební kámen energetické transformace směrem k nízkoemisnímu, soběstačnému a lokálně řízenému systému. Umožňují vyrábět energii přímo v místě spotřeby, čímž snižují přenosové ztráty, zvyšují efektivitu využití sítí a posilují energetickou nezávislost regionů i jednotlivých komunit.

Tradiční modely, založené na centrálních zdrojích, doplňují nové typy distribuovaných OZE, které využívají alternativní výrobní plochy a kombinují více funkcí v jednom řešení. Mezi takové technologie patří zejména plovoucí fotovoltaické systémy (Floating PV), instalované na vodních plochách, a dual-use instalace, například fotovoltaika na parkovištích, zemědělských plochách či průmyslových areálech. Tyto technologie umožňují produkci elektřiny bez záboru půdy a často přinášejí i další benefity, jako je snižování odparu vody nebo zlepšení mikroklimatu.

Důležitou součástí decentralizace je i rozvoj stabilních a říditelných obnovitelných zdrojů, které doplňují přerušované solární a větrné elektrárny. Klíčovou roli zde hrají geotermální systémy nové generace (EGS), umožňující kontinuální výrobu elektřiny i tepla díky hlubinnému vrtání i mimo tradičně aktivní geotermální oblasti.

Dalším významným směrem v této oblasti jsou technologie Power-to-X (PtX), které umožňují přeměnu přebytečné elektřiny z OZE na plynná a kapalná paliva, například vodík nebo syntetický metan. Elektrolyzéry typu AEL, PEM a SOEC umožňují energii uložit, transportovat nebo využít v dalších sektorech, čímž PtX posiluje sektorovou integraci a zvyšuje flexibilitu energetického systému. Tyto technologie tak propojují elektrickou síť s dopravou a průmyslem a přispívají ke stabilitě v podmínkách vysokého podílu obnovitelných zdrojů.

Decentralizované OZE tedy neslouží pouze k výrobě energie – představují integrované, adaptivní a lokálně řízené energetické ekosystémy, které propojují výrobu, spotřebu, akumulaci a přeměnu energie do soběstačných celků schopných fungovat i v případě výpadků centrální sítě.

Hlavní technologické směry této oblasti zahrnují:

- Nové typy fotovoltaických systémů (Floating PV, dual-use FV) – využití nevyužitých ploch a kombinace více funkcí (výroba energie + prostorová efektivita).
- Geotermální systémy nové generace (EGS) – stabilní, říditelné a na počasí nezávislé zdroje vhodné pro lokální teplotní či průmysl.
- Technologie Power-to-X (AEL, PEM, SOEC) – přeměna přebytečné elektřiny na vodík a další energetické nosiče pro sezónní flexibilitu a propojení sektorů.

**Tabulka 5: Celková charakteristika identifikovaných technologií v oblasti Decentralizované obnovitelné zdroje**

Oblast	Technologie	Popis	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Životnost (v letech)	Zdroj
OZE	Agrovoltaika (Agri-PV)	Integrace FV panelů do zemědělské krajiny bez záboru půdy.	Typická velikost: 0,5–10 MWp Měrný výkon: 0,8–1,2 kWp/m <sup>2</sup> Účinnost: 18–22 % Kapacitní faktor: 12–18 %	1100 €/kW	18,5 €/kW/rok	25–30	<a href="#">Fraunhofer ISE – LCOE Renewable Energy Technologies 2024</a>
	Plovoucí FV (FPV)	Instalace FV panelů na vodní hladině, omezení evaporace a úspora prostoru.	Typická velikost: 0,5–50 MWp Účinnost: 18–21 % Kapacitní faktor: 13–20 %	1200 €/kW	25 €/kW/rok	25	<a href="#">World Bank &amp; SERIS – Where Sun Meets Water: Floating Solar Handbook for Practitioners (2nd ed.) (2023)</a>
	Geotermální systémy EGS / Enhanced Geothermal Systems	Rozšířená geotermie pro decentralizovaný „baseload“.	Typická velikost: 5–20 MW (elektrických), 10–50 MWth Vrty: 3 000–6 000 m Elektrická účinnost: 10–18 % Teplotní gradient: 150–250 °C Kapacitní faktor: 85–95 %	5750 €/kW	202,5 €/kW/rok	30–40	<a href="#">NREL ATB 2023 – Geothermal (hydrothermal/EGS) cost tabs</a>
Sektorové propojení	Power-to-X (AEL/PEM/SOEC)	Přeměna přebytků elektřiny na vodík nebo syntetická paliva.	Typická velikost: 1–100 MW elektrolyzérů Účinnost (LHV): AEL 60–70 %, PEM 55–65 %, SOEC 70–85 % Spotřeba elektřiny: 48–55 kWh/kg H <sub>2</sub> Provozní flexibilita: AEL 30–100 %, PEM 10–100 %, SOEC 40–100 % Kapacita na vodík: (kg/h) dle výkonu – typicky 20–2000 kg/den	1250 €/kW	45 €/kW/rok	20	<a href="#">IEA – Global Hydrogen Review 2023</a>

Zdroj: Vlastní zpracování

Rozpětí investičních nákladů u technologií podporujících decentralizaci obnovitelných zdrojů odráží rozdíly v jejich rozsahu, technické složitosti a úrovni použité technologie. Investičně méně náročné varianty obvykle představují menší a jednodušší instalace, které slouží k ověření technologií nebo k lokálnímu zásobování obcí či firem. Naopak investičně náročnější řešení odpovídají rozměrově větším a technologicky pokročilým průmyslovým systémům s vyšší účinností, vysokou mírou automatizace a napojením na širší energetickou infrastrukturu regionu nebo státu.

**Tabulka 6: Charakteristika dolní a horní hranice investičních nákladů (CAPEX) podle typu realizace**

Technologie	Dolní hranice CAPEX – charakter instalace	Horní hranice CAPEX – charakter instalace
Agrovoltaika (630-910 €/kW)	Malá solární instalace s pevně umístěnými panely nad polem nebo pastvinou (100–200 kW). Jednoduchá konstrukce, která umožňuje kombinovat výrobu elektřiny a zemědělskou produkci bez zásahu do půdy.	Velké systémy s pohyblivými panely, které se automaticky přizpůsobují poloze slunce. Jsou vybaveny senzory sledujícími mikroklima a automatickým řízením stínění, často i robotickou údržbou.
Plovoucí FV (665-1015 €/kW)	Solární panely umístěné na malé vodní nádrži nebo rybníku (do 1 ha). Jednoduchá konstrukce se základními plováky, vhodná pro testovací nebo komunitní projekty.	Rozsáhlejší instalace na přehradách nebo průmyslových nádržích. Mají hustší rozmístění panelů, odolné ukotvení proti vlnám, senzory teploty vody a systém monitorování odpařování.
Geotermální EGS (2450-5600 €/kW)	Mělké vrty (3–4 km) s nižší teplotou podloží, určené pro vytápění menších sídel nebo průmyslových objektů. Vhodné pro regionální tepelnou síť.	Hluboké vrty (více než 6 km) s vysokou teplotou, umožňující výrobu elektřiny. Systémy využívají binární turbíny, rekuperaci tepla a oběhové kapaliny, které zvyšují účinnost.
Power-to-X (630-1120 €/kW)	Menší zařízení s výkonem 1–5 MW, které pomocí elektřiny vyrábí vodík pro místní potřebu (např. v průmyslu nebo dopravě). Jednodušší konstrukce, vhodná pro pilotní projekty.	Velká průmyslová zařízení s výkonem nad 50 MW, která vyrábí vysoce čistý vodík nebo syntetická paliva. Systémy využívají rekuperaci tepla, kompresi a skladování plynu.

Zdroj: Vlastní zpracování

Vývojové trendy v oblasti decentralizovaných obnovitelných zdrojů a jejich vazba na decentralizaci:

### 1. Dual-use a „land-smart“ obnovitelné zdroje

- Technologie jako agrofotovoltaika, carporty nebo plovoucí solární systémy (FPV) umožňují instalaci obnovitelných zdrojů bez záboru kvalitní zemědělské půdy. Kombinují výrobu elektřiny s doplňkovými funkcemi, jako je stínění plodin, zadržování vody či vytváření nových funkčních ploch.
- Podporují distribuované nasazení blízko místa spotřeby a snižují tlak na přenosovou infrastrukturu.

### 2. Lokalizace výroby a vznik mikro-bilancí

- Pokles systémových nákladů fotovoltaiky a rostoucí účinnost střešních i pozemních instalací umožňují provoz mikrosítí v poloostrovním nebo ostrovním režimu.
- Zvyšování podílu lokální výroby posiluje energetickou soběstačnost komunit a firem, které se stávají aktivními prvky decentralizované sítě.

### 3. Základní výkon z geotermální energie

- Rozšířené geotermální systémy (EGS) poskytují stabilní, nízkoemisní zdroj energie i v regionech bez přirozených geotermálních rezervoárů.
- V decentralizované síti tvoří lokální „baseload“, který stabilizuje provoz tam, kde převažují proměnlivé zdroje, zejména fotovoltaika a větrná energie.

### 4. Sektorové propojení prostřednictvím Power-to-X

- Moderní elektrolyzéry (AEL, PEM, SOEC) umožňují přeměnu přebytků elektřiny na vodík či syntetická paliva přímo v místě výroby.
- Tento trend rozšiřuje decentralizaci do plynového a tepelného sektoru, snižuje závislost na centrálních průmyslových závodech a vytváří propojený energetický ekosystém, v němž lokální zdroje obsluhují více sektorů.

### 5. Modulární a digitálně řízené bloky

- Kombinace obnovitelných zdrojů, technologií Power-to-X a lokální spotřeby vytváří autonomní energetické buňky – mikrosítě a komunitní klastry. Tyto jednotky využívají digitální řízení, umělou inteligenci a akumulaci k vlastnímu vyvažování výroby a spotřeby.
- Decentralizace se tím stává strukturální vlastností energetického systému, nikoliv pouze doplňkem centrální infrastruktury.

## Potenciál pro aplikaci technologií v ČR

Rychlý pokles cen solárních a větrných technologií pro výrobu elektřin, společně s novými formami instalací (agrovoltaika, plovoucí PV, střešní carporty), umožňuje rychlé rozšiřování decentralizované výroby energie v České republice. Do roku 2030 může být instalováno až 15 GW fotovoltaických zdrojů, přičemž více než polovina v decentralizované podobě. Tyto aplikace se vyznačují krátkou dobou výstavby, nízkými provozními náklady a možností využití ploch, které nejsou v konfliktu s ochranou zemědělské půdy.

Geotermální systémy EGS poskytují stabilní základní výkon a umožňují energetickou soběstačnost i v regionech bez přirozených zdrojů OZE. Technologie Power-to-X (PtX) rozšiřují využití obnovitelných zdrojů na výrobu vodíku, syntetického plynu či metanolu a přinášejí decentralizaci také do průmyslu a dopravy. PtX tím propojuje elektřinu, teplo a plyn do jednoho integrovaného energetického ekosystému.

Pro Českou republiku jde v případě těchto technologií o strategickou příležitost. Jejich aplikace umožňuje snížit závislost na centrálních fosilních zdrojích a současně posilovat regionální energetické ekosystémy. Pokud bude zachováno současné tempo instalací a dostupnost investičních pobídek, může podíl decentralizované výroby na spotřebě elektřiny do roku 2040 překročit 40 %.

## 8.4 Digitalizace a inteligentní řízení

Nástroje digitalizace a inteligentní řízení sítí představují páteř moderní energetiky a zároveň klíčový předpoklad pro rozvoj decentralizovaných a flexibilních energetických soustav. Propojují fyzické komponenty infrastruktury s datovými a analytickými systémy, čímž umožňují efektivní řízení výroby, spotřeby i akumulace energie v reálném čase.

Systémy energetického managementu (EMS) a platformy využívající umělou inteligenci (AI) hrají v tomto procesu zásadní roli. Optimalizují provoz sítí, koordinují nabíjení baterií a přizpůsobují spotřebu aktuálním cenám nebo výkonovým potřebám. Díky prediktivním algoritmům umožňují přechod od reaktivního k proaktivnímu řízení, což zvyšuje stabilitu i ekonomickou efektivitu celé soustavy.

Digitální dvojčata (digital twins) vytvářejí virtuální modely sítí a zařízení, které umožňují simulovat provozní scénáře, testovat nové technologie a předvídat možné poruchy či přetížení. Tím poskytují provozovatelům distribučních i přenosových soustav lepší možnosti pro plánování investic, optimalizaci zatížení a zvyšování odolnosti infrastruktury.

Součástí digitalizace energetických soustav je také rozvoj chytrého měření, edge computingu a IoT senzoriky, které poskytují přesná a časově synchronizovaná data o výrobě, spotřebě a technickém stavu zařízení. Tato data tvoří základ pro řízení flexibility, prediktivní údržbu a fungování lokálních energetických trhů. Právě digitální platformy pro P2P obchodování umožňují spotřebitelům i výrobcům reagovat na cenové signály a sdílet přebytky energie v rámci komunitních projektů.

Digitalizace energetiky proto není pouze podpůrným prvkem, ale strategickým nástrojem umožňujícím integraci obnovitelných zdrojů, efektivní řízení flexibility a posilování stability decentralizovaných energetických soustav. Umožňuje transformaci energetiky od centrálně řízeného systému k otevřené síti vzájemně propojených a autonomních prvků.

Hlavní technologické směry této oblasti zahrnují:

- Energetické řídicí systémy (EMS) a AI platformy – optimalizace provozu na základě prediktivní analýzy a řízení v reálném čase.
- Digitální dvojčata energetických sítí – simulace systémového chování, testování investičních scénářů a podpora prediktivní údržby.
- Smart metering a edge computing – sběr a lokální zpracování dat s vysokou granularitou na úrovni domácností či komunit.
- Lokální trhy a P2P platformy – umožňují sdílení energie mezi účastníky a zvyšují efektivitu využívání lokálních obnovitelných zdrojů.

**Tabulka 7: Celková charakteristika identifikovaných technologií v oblasti Digitalizace a inteligentní řízení**

Oblast	Technologie	Popis	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Životnost (v letech)	Zdroj
Digitalizace	EMS / AI platformy / Energy Management Systems (AI-based)	Inteligentní řízení výroby, spotřeby a akumulace v reálném čase.	Typická velikost: 100 kW – 50 MW řízeného výkonu Počet zařízení v síti: 50–10 000 Predikční přesnost: 85–95 % Latence řízení: 100–800 ms	210000 €/instalace	23800 €/instalace/rok	10–15	<a href="#">European Commission, ETIP SNET. (2020). ETIP SNET R&amp;I Roadmap 2020-2030.</a>
	Digitální dvojče provozu / Operational Digital Twin	Virtuální model sítě pro simulaci a predikci zatížení.	Typická velikost: 1 000–100000 uzlů Synchronizace s reálnými daty: 1–15 min Predikce chování sítě: 90–98 % přesnost	315000 €/projekt	31500 €/projekt/rok	10–15	<a href="#">IEC White Paper: Virtualizing power systems – how digital twins will revolutionize the energy sector.</a>
	Smart metering	Pokročilé měření spotřeby a výroby s obousměrnou komunikací.	Typická velikost: 1–100 tisíc měřičů Interval odečtu: 1–15 min Komunikace: PLC / LTE / NB-IoT Chybovost měření: <1 %	151 €/měřič	5 €/měřič/rok	10–15	<a href="#">European Commission (DG ENER): Benchmarking smart metering deployment in the EU-28.</a>
	Edge řídicí jednotky / Edge AI Controllers	Lokální výpočetní jednotky pro autonomní řízení a predikci.	Typická velikost: 10–500 uzlů Latence: <50 ms Výpočetní výkon: 1–20 TOPS (AI inference)	805 €/zařízení	35 €/zařízení/rok	8–12	<a href="#">Javed, H. (2021). Optimal energy management of a campus microgrid considering financial and economic analysis with demand response strategies.</a>
	Energetické data spaces / Energy Data Spaces	Decentralizované uzly pro sdílení dat mezi komunitami a DSOs.	Typická velikost: 1–20 uzlů Propustnost: 1–10 Gbps Počet entit: 100–10 000	157500 €/uzel	14700 €/uzel/rok	10–15	<a href="#">European Commission / EnTEC: Common European Energy Data Space – Technical Report</a>

Zdroj: Vlastní zpracování

Rozdíly mezi dolní a horní hranicí investičních nákladů u digitalizačních technologií odrážejí rozsah funkcí, úroveň automatizace a míru integrace do energetické sítě. Jednodušší řešení jsou typická pro pilotní projekty nebo jednotlivé budovy, zatímco pokročilé varianty se uplatňují v regionálních sítích či komplexních energetických systémech, kde je klíčová vysoká spolehlivost, bezpečnost a datová interoperabilita.

**Tabulka 8: Charakteristika dolní a horní hranice investičních nákladů (CAPEX) podle typu realizace**

Technologie	Dolní hranice CAPEX – charakter instalace	Horní hranice CAPEX – charakter instalace
EMS / AI platformy (70000-350000 €/instalace)	Jednoduchý lokální systém, který sleduje spotřebu a výrobu elektřiny v jedné mikrosíti (např. v areálu firmy nebo obce). Pracuje s omezeným množstvím dat a základními algoritmy pro řízení zátěže.	Plně vybavený dispečerský systém pro řízení celé regionální sítě. Využívá umělou inteligenci k predikci výroby a spotřeby, optimalizuje ceny a je napojený na dohledový systém SCADA.
Digitální dvojče sítě (70000-56000 €/projekt)	Základní digitální model distribuční sítě, který se aktualizuje ručně. Slouží k plánování a analýze sítě bez dat v reálném čase.	Pokročilé digitální dvojče, které zobrazuje aktuální stav sítě v reálném čase. Je propojeno se senzory a systémem SCADA a dokáže automaticky vyhodnocovat rizika a poruchy.
Smart metering (126-175 €/měřič)	Jednoduchý systém dálkového odečtu spotřeby elektřiny. Data se přenáší jednosměrně a využívají se hlavně k fakturaci.	Pokročilý obousměrný systém, který kromě měření umožňuje i řízení spotřeby a aktivní zapojení uživatele do energetické sítě (např. při dynamických tarifech).
Edge AI controllery (560-1050 €/zařízení)	Malá zařízení, která lokálně řídí spotřebiče nebo výrobní zdroje, ale mají omezenou výpočetní kapacitu a nejsou zálohovaná.	Výkonné řídicí jednotky s umělou inteligencí, které dokážou samostatně reagovat na změny v síti, mají zálohování (failover logiku) a integrovanou ochranu proti kybernetickým útokům.
Energy Data Spaces (105000-210000 €/uzel)	Pilotní datový uzel, který umožňuje výměnu dat mezi několika účastníky (např. obcí, distributorem a dodavatelem energie).	Plně rozvinutý datový systém, který propojuje různé energetické subjekty na regionální i evropské úrovni. Umožňuje bezpečné sdílení dat, interoperabilitu a napojení na evropský Data Space pro energetiku.

Zdroj: Vlastní zpracování

Vývojové trendy v oblasti skladování digitalizace a inteligentního řízení a jejich vazba na decentralizaci:

### 1. Autonomní řízení a prediktivní optimalizace

- Řídicí systémy se postupně posouvají od modelu centralizovaných dispečinků k autonomním agentům řízeným umělou inteligencí. Tyto systémy dokážou samostatně vyhodnocovat stav sítě, reagovat na lokální změny a optimalizovat energetické toky v reálném čase.
- Decentralizace se tak rozvíjí směrem k sítím tvořeným „samořiditelnými uzly“, které minimalizují závislost na centrální koordinaci.

## **2. Integrace dat a vznik energetických datových prostorů**

- Roste důraz na bezpečné, standardizované a interoperabilní sdílení dat mezi komunitami, provozovateli sítí, agregátory a dalšími aktéry prostřednictvím energetických datových prostorů (Energy Data Spaces).
- Transparentní přístup k datům posiluje důvěru mezi účastníky a umožňuje vznik nových tržních i kooperativních modelů, což je klíčové pro fungování decentralizovaných soustav.

## **3. Federovaná digitální dvojčata**

- Zatímco digitální dvojčata byla dříve doménou centrálních provozovatelů sítí, současný trend směřuje k jejich federovanému a distribuovanému využití.
- Lokální digitální dvojčata modelují provoz jednotlivých mikrosítí, vzájemně se propojují a umožňují komunitám predikovat výrobu i spotřebu.

## **4. Interoperabilita a otevřené standardy**

- Rozvoj komunikačních protokolů jako IEC 61850, EEBUS nebo OPC UA umožňuje hladké propojení různých zařízení a systémů, nezávisle na výrobcích.
- Otevřené standardy eliminují závislost na proprietárních platformách a vytvářejí podmínky pro škálovatelnou decentralizaci, kde každý uzel může být plnohodnotnou součástí širší sítě.

## **5. Rozšíření edge computingu a lokální analytiky**

- Zatímco dříve probíhalo zpracování dat převážně v centrálních cloudových systémech, stále větší část výpočetních procesů se přesouvá na okraj sítě (edge) – do měničů, nabíječek, řídicích jednotek mikrosítí.
- Tento posun výrazně posiluje digitální autonomii lokálních systémů: rozhodování i řízení probíhá tam, kde energie skutečně vzniká a kde je spotřebovávána.

## **Potenciál pro aplikaci technologií v ČR**

Digitalizace je páteří celé decentralizace. Bez rozvoje chytrého měření, prediktivních algoritmů a umělé inteligence není možné efektivně řídit tisíce menších zdrojů a spotřebičů. V České republice však zůstává digitalizace energetiky nerovnoměrná – chybí standardizace datových formátů, propojení s centrálními dispečinkami a dostatečná automatizace distribučních sítí.

Implementace digitálních dvojčat a AI-řízených systémů energetického managementu (EMS) umožní přechod od reaktivního k proaktivnímu řízení sítě. Zavedení edge computingu a IoT senzorky v lokálních mikrosítích může zvýšit provozní efektivitu o 5–10 % a zkrátit reakční dobu na poruchy z hodin na minuty. Digitalizace zároveň otevírá prostor pro nové služby – agregaci flexibility, lokální obchodní platformy či prediktivní údržbu infrastruktury.

Pro Českou republiku je zásadní posílit spolupráci energetických firem a ICT sektoru a vytvořit národní standardy pro datovou interoperabilitu v energetice. Zavedení povinného chytrého měření do roku 2027 a rozvoj digitálních dvojčat distribučních soustav mohou významně urychlit implementaci decentralizovaných energetických modelů.

## **8.5 Kybernetická bezpečnost a ochrana dat**

S rostoucí digitalizací, automatizací a decentralizací energetických systémů se kybernetická bezpečnost a ochrana dat stávají klíčovými pilíři jejich spolehlivosti. Energetické sítě dnes propojují tisíce chytrých měřičů, bateriových systémů, nabíjecích stanic a řídicích platform, které nepřetržitě vyměňují citlivá data. Tato komplexní digitální infrastruktura výrazně zvyšuje

efektivitu i flexibilitu, zároveň však rozšiřuje potenciální plochu pro kybernetické útoky a riziko úniků informací.

Kybernetická bezpečnost proto už není pouze doplňkem digitalizačních řešení, ale nedílnou součástí jejich návrhu, implementace a provozu. Zabezpečení datových přenosů, autentizace uživatelů a ochrana IoT zařízení patří ke klíčovým předpokladům důvěryhodného fungování decentralizované energetiky. V praxi se prosazují nástroje jako Public Key Infrastructure (PKI) pro ověřování identity, anonymizační protokoly chránící osobní údaje při P2P obchodování nebo bezpečnostní vrstvy pro chytré měřiče, které chrání distribuční sítě před neoprávněnými zásahy.

Stále větší význam získává monitorování a prediktivní detekce hrozeb pomocí algoritmů strojového učení a systémů pro detekci anomálií (IDS/IPS). Tyto nástroje umožňují odhalit probíhající útoky v reálném čase a minimalizovat jejich dopad na provoz soustavy. Současně se objevují nové směry, například postkvantová kryptografie, která posiluje odolnost komunikačních sítí vůči budoucím hrozbám spojeným s nástupem kvantových počítačů.

Kybernetická bezpečnost v energetice tak propojuje technické, legislativní i strategické aspekty. Vyžaduje úzkou spolupráci provozovatelů sítí, dodavatelů technologií a regulačních institucí při vytváření společných standardů a rámců ochrany dat. V prostředí decentralizace se stává nezbytným předpokladem důvěry uživatelů v nové modely řízení energetiky..

Klíčové technologické směry této oblasti zahrnují:

- Ochranu IoT zařízení a chytrého měření – bezpečnostní rámce, certifikace zařízení, end-to-end šifrovaná komunikace.
- PKI a anonymizační systémy pro P2P obchodování – ověřování identity uživatelů a ochrana osobních údajů v decentralizovaných platformách.
- Pokročilé bezpečnostní architektury – Zero Trust přístupy, adaptivní detekce hrozeb, postkvantové kryptografické algoritmy pro dlouhodobou odolnost energetických systémů.

Tabulka 9: Celková charakteristika identifikovaných technologií v oblasti Kybernetická bezpečnost a ochrana dat

Oblast	Technologie	Popis	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Životnost (v letech)	Zdroj
Kyber- bezpečnost	Zero Trust architektura pro IoT / Zero-Trust IoT Architecture	Kontinuální ověřování a izolace přístupů v IoT prostředí.	Typická velikost: 50–5 000 uzlů Latence ověřování: 10–50 ms Počet politik/ACL: 500–20 000 Úroveň segmentace: 5–50 mikrozón	175000 €/projekt	17500 €/projekt/rok	10–15	<a href="#">Stafford, V. (2020). Zero trust architecture. NIST special publication, 800(207).</a>
	Federované identity (SSI) / Self-Sovereign Identities (SSI)	Decentralizovaná autentizace uživatelů a zařízení bez centrální autority.	Typická velikost: 500–50 000 účastníků Transakční propustnost: 10–500 TPS Latence ověření identity: 100–600 ms	122500 €/pilot	12250 €/pilot/rok	8–12	<a href="#">European Commission. Digital Identity: Leveraging the SSI Concept to Build Trust</a>
	Post-kvantová kryptografie / Post-Quantum Cryptography	Šifrovací algoritmy odolné vůči kvantovým útokům.	Typická velikost: 500–20 000 uzlů Výkonový overhead: 10–40 % (podle algoritmu)	245000 €/projekt	24500 €/projekt/rok	10–15	<a href="#">Chen, L. et al. (2022). NIST Round 3 Report on Post-Quantum Cryptography Standardization. NISTIR 8413.</a>
	AI-based Intrusion Detection Systems (AI-IDS)	Detekce kybernetických hrozeb pomocí neuronových sítí v reálném čase.	Typická velikost: 10 000–200 000 datových toků Latence detekce: <50 ms Přesnost detekce: 90–99 %	192500 €/projekt	24063 €/projekt/rok	10–15	<a href="#">Feng, J. (2025). Integration of Multi-Agent Systems and Artificial Intelligence in Self-Healing Subway Power Supply Systems: Advancements in Fault Diagnosis, Isolation, and Recovery.</a>
	Cyber testbedy a simulátory / Cybersecurity Testbeds and Simulators	Virtuální prostředí pro testování odolnosti mikrosítí a DS.	Typická velikost: 500–50 000 simulovaných uzlů Simulační rychlost: 1–10× reálného času	315000 €/projekt	23625 €/projekt/rok	10–15	<a href="#">Kippke Salomón, M. A. (2025). Smart Metering as a Regulatory and Technological Enabler for Flexibility in Distribution Networks: Incentives, Devices, and Protocols. Energies, 18(19), 5269.</a>

Zdroj: Vlastní zpracování

Investiční náklady u technologií kybernetické bezpečnosti se odvíjejí od úrovně poskytované ochrany, rozsahu implementace a schopnosti systémů reagovat v reálném čase. Základní řešení se zaměřují na prevenci a detekci incidentů v menších sítích, zatímco pokročilé varianty nabízejí plně automatizovanou ochranu, nepřetržitý dohled a vyšší odolnost vůči moderním hrozbám, včetně útoků využívajících umělou inteligenci či budoucí kvantové výpočetní technologie.

**Tabulka 10: Charakteristika dolní a horní hranice investičních nákladů (CAPEX) podle typu realizace**

Technologie	Dolní hranice CAPEX – charakter instalace	Horní hranice CAPEX – charakter instalace
Zero Trust (70000-280000 €/projekt)	Základní kybernetická ochrana sítě, kde jsou uživatelé rozděleni podle rolí a přístup je řízen centrálně. Autentizace probíhá lokálně a šifrování je pouze částečné.	Komplexní bezpečnostní systém, který ověřuje každé připojení automaticky, šifruje komunikaci na všech úrovních a je doplněn o dohledové centrum (SOC) fungující 24/7.
SSI (70000-175000 €/pilot)	Pilotní projekt decentralizované digitální identity pro několik desítek uživatelů nebo zařízení. Umožňuje základní ověřování bez centrální databáze.	Plně funkční infrastruktura pro decentralizované identity, propojená s evropskou digitální peněženkou (EUDI Wallet). Obsahuje správu certifikátů a interoperabilitu mezi systémy.
Post-quantum kryptografie (140000-350000 €/projekt)	Základní testování šifrovacích algoritmů odolných vůči kvantovým útokům na několika síťových uzlech.	Rozsáhlé nasazení kvantově odolného šifrování v celé distribuční síti. Zahrnuje správu klíčů, certifikátů a audit bezpečnosti.
AI-IDS (105000-280000 €/projekt)	Jednoduché modely pro odhalování podezřelých aktivit v síti, které vyhodnocují data zpětně, bez reakce v reálném čase.	Pokročilý systém využívající umělou inteligenci, který se učí rozpoznávat nové typy útoků a dokáže na ně automaticky reagovat v reálném čase.
Cyber testbedy (210000-420000 €/projekt)	Menší laboratoř, která simuluje chování několika desítek zařízení pro testování základní odolnosti proti útokům.	Národní nebo regionální testovací centrum s reálnými síťovými prvky, které umožňuje simulovat rozsáhlé útoky a vyhodnocovat bezpečnost energetické infrastruktury.

Zdroj: Vlastní zpracování

Vývojové trendy v oblasti kyberbezpečnosti a jejich vazba na decentralizaci:

### 1. Bezpečnost „by design“ a adaptivní architektury

- Moderní energetické systémy jsou navrhovány podle principu security-by-design, kdy jsou prvky kybernetické ochrany – například Zero Trust, end-to-end šifrování či segmentace sítí – integrovány již ve fázi návrhu infrastruktury.
- V decentralizovaném prostředí, kde počet uzlů i vzájemných interakcí rychle roste, se tak bezpečnost stává inherentní vlastností každého zařízení a mikrosítě, nikoli dodatečnou vrstvou.

### 2. Decentralizované identity a důvěra bez prostředníků

- Technologie Self-Sovereign Identity (SSI) umožňují ověřování účastníků bez nutnosti centrální autority.
- V decentralizované síti vzniká nová digitální vrstva důvěry, umožňující komunitám, výrobcům i spotřebitelům autentizovat interakce autonomně, což posiluje transparentnost a snižuje riziko zneužití centrálních registrů.

### **3. Umělá inteligence pro detekci a prevenci útoků v reálném čase**

- Umělá inteligence a strojové učení se stávají klíčovými nástroji pro prediktivní detekci hrozeb – analýzou datových toků dokážou identifikovat anomálie a reagovat dříve, než ohrozí provoz systému.
- Decentralizace se tak posouvá k vyšší autonomii: jednotlivé uzly jsou schopny lokální obrany bez nutnosti centralizovaného zásahu.

### **4. Post-kvantová a hardwarová kryptografie**

- S nástupem kvantových výpočetních technologií roste potřeba nových šifrovacích metod. Postkvantová kryptografie a hardwarově zakotvené bezpečnostní moduly (HSM) poskytují odolnost vůči budoucím výpočetně náročným útokům.
- Tato opatření posilují důvěryhodnost decentralizovaných sítí, které by jinak byly výrazně zranitelnější vůči novým typům hrozeb.

### **5. Testovací prostředí a kybernetická digitální dvojčata**

- Stále častěji se využívají simulátory a testbedy, které umožňují ověřovat odolnost mikrosítí proti útokům v realistických podmínkách.
- Tato virtuální testovací prostředí umožňují testovat bezpečnostní scénáře bez zásahu do reálného provozu a zvyšují tak připravenost a celkovou rezilienci decentralizovaných systémů.

## **Potenciál pro aplikaci technologií v ČR**

Decentralizace přináší výrazné zvýšení počtu připojených bodů a tím i růst rizik spojených s kybernetickými útoky. Zajištění bezpečnosti dat a řízení v reálném čase je zásadní pro udržení důvěry v nové modely P2P obchodování a komunitní energetiky. Česká republika disponuje vyspělou ICT infrastrukturou a silným odborným zázemím v oblasti kyberbezpečnosti, což vytváří vhodné předpoklady pro rozvoj národních bezpečnostních standardů v energetice.

Integrace požadavků NIS2, rozvoj samo-napravujících se sítí a důsledná ochrana IoT zařízení zvýší odolnost decentralizovaných architektur. Lze očekávat, že systémy pro autentizaci, anonymizaci a monitorování datových toků se v příštích letech stanou běžnou součástí energetických platform. V České republice by zároveň měla vzniknout specializovaná „Test-to-Trust“ laboratoř zaměřená na energetickou kyberbezpečnost, ideálně v úzké spolupráci s NÚKIB a akademickými institucemi.

Bezpečné digitální prostředí je základním předpokladem důvěry spotřebitelů i obcí v decentralizaci. Investice do kyberbezpečnosti by proto neměly být vnímány jako náklad, ale jako nezbytná záruka stability, spolehlivosti a dlouhodobé udržitelnosti celého energetického ekosystému.

## **8.6 Odolnost a udržitelnost energetických systémů**

Odolnost a udržitelnost představují klíčové pilíře energetiky budoucnosti. Jsou rozhodující nejen pro dlouhodobou spolehlivost dodávek energie, ale také pro dosažení cílů dekarbonizace a efektivní fungování decentralizovaných soustav.

Odolnost vyjadřuje schopnost energetického systému reagovat na výpadky, extrémní klimatické jevy, kybernetické útoky či jiné krizové situace a zároveň minimalizovat jejich dopad na koncové uživatele. V kontextu decentralizace se tato schopnost přesouvá i na nižší úroveň – k distribučním sítím, komunitním mikrosítím, bateriovým úložištím a dalším lokálním zdrojům energie.

Technologický vývoj se zaměřuje na prediktivní diagnostiku a údržbu, které díky pokročilé sensorice, digitálním dvojčatům a analytickým algoritmům umožňují odhalit potenciální problémy ještě před vznikem poruchy. Tyto přístupy zvyšují spolehlivost provozu, zkracují odstávky a snižují náklady na údržbu. Modernizace distribučních sítí, zahrnující chytré řízení, automatizaci a integraci akumulčních kapacit, představuje konkrétní krok směrem k posílení systémové odolnosti a flexibility.

Udržitelnost se současně promítá do celého životního cyklu technologií – od těžby surovin přes výrobu a provoz až po recyklaci. Stále větší význam získává cirkulární ekonomika, zejména v oblasti baterií a kritických surovin, kde se rozvíjejí nové technologie recyklace a opětovného využití materiálů. Tyto přístupy snižují environmentální zátěž, omezují závislost na dovozech a podporují materiálovou soběstačnost.

Odolný a udržitelný energetický systém proto musí kombinovat technickou spolehlivost, environmentální šetrnost a ekonomickou efektivitu. Modularita a sledovatelnost technologií – například prostřednictvím digitálních pasů či certifikace dodavatelských řetězců – posilují transparentnost a důvěru ve stabilitu systému. Decentralizace navíc přináší větší počet aktérů, a tím i větší potřebu koordinace a prediktivního řízení; odolnost a udržitelnost se tak stávají základními parametry pro hodnocení nových technologií i investic.

V rámci této oblasti jsou identifikovány zejména tyto tematické směry:

- Cirkulární ekonomika a recyklace baterií – využívání druhotných surovin, prodloužení životního cyklu zařízení a efektivní nakládání s odpady z energetiky.
- Prediktivní údržba a adaptivní řízení – diagnostika a prevence poruch na základě dat ze senzorů a modelů digitálních dvojčat.
- Modernizace a posílení distribuční infrastruktury – integrace decentralizovaných zdrojů, akumulčních systémů a automatizovaných mechanismů řízení toků energie.

**Tabulka 11: Celková charakteristika identifikovaných technologií v oblasti Odolnost a udržitelnost energetických systémů**

Oblast	Technologie	Popis	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Životnost (v letech)	Zdroj
Odolnost / Resilience	Digitální dvojče aktiv / Asset Digital Twin	Digitální dvojče sleduje stav, degradaci a provozní historii zařízení a umožňuje prediktivní údržbu. Zvyšuje spolehlivost infrastruktury a snižuje neplánované odstávky.	Typická velikost: 500–50 000 aktiv Frekvence aktualizace: 1–10 min Predikční přesnost degradace: 85–95 % Prodloužení životnosti: 5–15 %	175000 €/projekt	15750 €/projekt/rok	10–15	<a href="#">Suhail, S. (2024). A Framework for Enhancing Cyber Incident Response with Security-Enhancing Digital Twins in Cyber-Physical Systems.</a>
	Hybridní AC/DC sítě / Hybrid AC/DC Networks	Kombinace střídavých a stejnosměrných rozvodů zvyšuje účinnost přenosu a odolnost vůči výpadkům. Umožňuje přímé připojení zdrojů, úložišť i spotřebičů.	Typická velikost: 1–50 MW Ztrátová úspora: 5–15 % proti AC Napěťové úrovně: 380–800 V DC, 10–22 kV AC	700000 €/MW	16100 €/MW/rok	25–35	<a href="#">Areola, R. I. (2025). Integrated Energy Storage Systems for Enhanced Grid Efficiency: A Comprehensive Review of Technologies and Applications. Energies, 18(7), 1848.</a>
	Samo napravitelné sítě / Self-Healing Grids	Self-healing systémy využívají senzory a algoritmy pro automatickou detekci a izolaci poruch. Minimalizují výpadky a zvyšují spolehlivost lokálních sítí.	Typická velikost: 500–20 000 uzlů Odezva: <1 s Zkrácení SAIDI/SAIFI: 20–60 %	350000 €/projekt	350000 €/projekt/rok	15–20	<a href="#">IEA (2023). Electricity Grids and Secure Energy Transitions: Enhancing the Foundations of Resilient, Sustainable and Affordable Power Systems</a>
Udržitelnost / Sustainability / Udržitelnost / Sustainability	Cirkulární zpracování baterií a komponent / Circular Processing of Batteries and Components	Recyklace a zpracování kritických materiálů z baterií a fotovoltaických komponent snižuje environmentální dopady a potřebu primárních surovin.	Recyklační účinnost: 70–95 % Typická kapacita linek: 5 000–40000 t/rok Výtěžnost materiálu: 50–90 % (Li, Ni, Co) Emisní úspora: 30–70 % oproti primární těžbě	7000000 €/linka	1225 €/t zpracované hmoty	15–20	<a href="#">Jaradat, T. (2025). A review of battery energy storage system for renewable energy penetration in electrical power system: Environmental impact, sizing methods, market features, and policy frameworks. Future Batteries.</a>

	Digitální pasy technologií (DPP) / Digital Product Passports (DPP)	Digitální pasy shromažďují údaje o původu, složení a historii komponent, čímž zvyšují transparentnost a umožňují recyklaci.	Typická velikost: 10 000–500 000 zařízení Typ záznamů: 50–200 metadat/komponent Zvýšení recyklovatelnosti: +10–20 %	70000 €/projekt	5250 €/projekt/rok	10–15	<a href="#">Capgemini (2024). World Energy Markets Observatory 2024, 26th Edition.</a>
	Bioinspirované chlazení / Bio-Inspired Cooling Systems	Chladicí systémy využívající principy z přírody (mikrokanály, kapilární jevy) zvyšují účinnost a snižují energetické ztráty.	Typická velikost: 10–500 kW chlazeného výkonu Zvýšení účinnosti: 5–15 % Snížení spotřeby chladiva: 20–40 % Teplotní úspora: 3–8 °C	193 €/kW	5 €/kW/rok	10–15	<a href="#">IEA BIOENERGY. Annual report 2024: Bioenergy – Accelerating to Net Zero.</a>

Zdroj: Vlastní zpracování

Rozdíly v investičních nákladech závisejí na technologické vyspělosti a rozsahu nasazení jednotlivých řešení. Základní varianty slouží především k ověření funkčnosti nebo pilotnímu provozu a jsou vhodné pro menší provozy či regionální iniciativy. Pokročilé systémy představují integrovaná, automatizovaná a vysoce digitalizovaná řešení, která zvyšují spolehlivost, energetickou účinnost a celkovou udržitelnost infrastruktury.

**Tabulka 12: Charakteristika dolní a horní hranice investičních nákladů (CAPEX) podle typu realizace**

Technologie	Dolní hranice CAPEX – charakter instalace	Horní hranice CAPEX – charakter instalace
Asset Digital Twin (70000-280000 €/projekt)	Jednoduchý digitální model pro sledování jednoho zařízení nebo menší sítě. Umožňuje vizualizaci a ruční aktualizaci dat bez propojení v reálném čase.	Komplexní digitální dvojče celého závodu nebo distribuční sítě je propojené se senzory a dohledovým systémem SCADA, což umožňuje prediktivní údržbu a automatickou analýzu provozu.
Hybridní AC/DC (560000-840000 €/MW)	Menší hybridní síť v rámci jednoho průmyslového areálu, kde se střídavý a stejnosměrný proud přepíná ručně.	Rozsáhlejší městská nebo regionální síť, která kombinuje různé napěťové úrovně a umožňuje efektivní řízení a monitoring. Součástí je i zálohování a redundantní systémy.
Self-healing grids (210000-490000 €/projekt)	Lokální systém detekce poruch, který dokáže identifikovat problém, ale vyžaduje manuální zásah pro obnovení provozu.	Pokročilá automatizovaná síť, která při poruše sama přepne napájení a minimalizuje výpadky. Systém využívá senzory a umělou inteligenci k analýze rizik a rychlé reakci.
Recyklační linka (3500000-10500000 €/linku)	Menší regionální zařízení s kapacitou do 2 000 tun ročně, kde probíhá většina třídění ručně.	Velká automatizovaná linka s kapacitou přes 10 000 tun ročně, která využívá robotizaci, optické senzory a uzavřený oběh materiálů.
DPP (35000-105000 €/projekt)	Pilotní projekt sledující základní informace o omezeném počtu výrobků (např. složení a původ). Data se zapisují ručně.	Plně funkční systém s automatickým zápisem výrobních dat a napojením na evropské standardy pro digitální pasy, který zajišťuje transparentnost a sledovatelnost produktů.
Bioinspirované chlazení (140-245 €/kW)	Jednoduché pasivní chladič systémy využívající přirozený pohyb kapalin a odvod tepla z povrchu zařízení.	Pokročilé aktivní chladič systémy inspirované biologickými procesy, které využívají kapilární jevy a jsou napojené na řídicí systém budovy (BMS).

Zdroj: Vlastní zpracování

Vývojové trendy v oblasti odolnosti a udržitelnosti energetických systémů a jejich vazba na decentralizaci:

### 1. Hybridní AC/DC infrastruktura

- Kombinace střídavých (AC) a stejnosměrných (DC) rozvodů v rámci jednoho síťového uzlu umožňuje efektivnější přenos energie a snadnější integraci obnovitelných zdrojů i akumulčních systémů.
- Tento přístup zvyšuje účinnost a stabilitu distribuovaných soustav a posiluje lokální autonomii – komunity mohou optimalizovat vlastní energetické toky s menší závislostí na nadřazené síti.

## **2. Samo napravitelné a rekonfigurovatelné sítě**

- Sítě nové generace dokážou automaticky detekovat poruchy, izolovat postižené části a přeměrovat energetické toky alternativními cestami. Tyto self-healing mechanismy umožňují decentralizovaným systémům zachovat provoz i při lokálních výpadcích.
- Výsledkem je vyšší celková odolnost soustavy a menší závislost na centrálním operátorovi..

## **3. Prediktivní údržba a digitální sledování degradace**

- Integrace senzorů, datové analytiky a modelů umělé inteligence umožňuje průběžné sledování technického stavu zařízení a včasnou predikci poruch či poklesu účinnosti.
- Decentralizované jednotky tak mohou samostatně plánovat servisní zásahy, čímž se zvyšuje provozní stabilita a snižují dlouhodobé náklady.

## **4. Cirkulární ekonomika a materiálová soběstačnost**

- Roste důraz na recyklaci baterií, fotovoltaických panelů, výkonových měničů a dalších zařízení, což snižuje závislost na dovozech kritických surovin.
- V kontextu decentralizace tento přístup podporuje vznik regionálních uzavřených cyklů – výroby, využití a opětovného zpracování technologií – a posiluje tak ekonomickou i ekologickou soběstačnost.

## **5. Digitální pasy a sledovatelnost komponent**

- Zavádění digitálních pasů výrobků (Digital Product Passports) umožňuje transparentní přehled o původu, údržbě i recyklačních možnostech jednotlivých zařízení.
- Tato transparentnost zvyšuje důvěru investorů i komunit v decentralizované energetické systémy a usnadňuje řízení aktiv v celém jejich životním cyklu.

## **6. Biotechnologie a adaptivní řízení tepla**

- Nové typy chladicích systémů inspirované přírodními principy – mikrokanálové, kapilární nebo bionické struktury – zlepšují řízení teploty výkonové elektroniky a baterií.
- Přispívají tak ke zvýšení provozní účinnosti a prodloužení životnosti zařízení, což je zásadní pro dlouhodobou udržitelnost a environmentální výkonnost decentralizovaných soustav.

## **Potenciál pro aplikaci technologií v ČR**

Odolnost a udržitelnost jsou základními kritérii dlouhodobě úspěšné decentralizace. Česká energetická infrastruktura je z velké části zastaralá, zejména v distribučním systému. Modernizace a zavádění prediktivních diagnostických systémů umožní efektivnější řízení provozu, včasné odhalování poruch a snížení ztrát v síti o 2–4 %. Paralelně roste důraz na cirkulární ekonomiku a recyklaci baterií či kritických surovin, která zvyšuje materiálovou soběstačnost a snižuje závislost na dovozech.

Významný je také regionální rozměr – lokální údržba, recyklace a servis posilují místní ekonomiku a snižují dopravní i logistické náklady. Z hlediska bezpečnosti představují odolné systémy základní ochranu před extrémními jevy, blackouty a dalšími krizovými situacemi. Pro Českou republiku je klíčové propojit programy dekarbonizace a adaptace na klimatické změny do jednotného rámce energetické resilience.

Dlouhodobě tato oblast zajistí, aby decentralizace nebyla pouze technologickou inovací, ale komplexní strukturální proměnou, která povede k vyšší soběstačnosti, bezpečnosti a odolnosti celé energetické soustavy.

## 8.7 Shrnutí technologického vývoje v oblasti decentralizace

Technologický rozvoj přináší široké spektrum nástrojů, které přispívají k transformaci energetického systému. Ne všechny technologie však mají přímý vztah k decentralizaci. Pro strategické plánování a efektivní zacílení podpory je proto zásadní rozlišit, zda konkrétní technologie decentralizaci přímo umožňuje, zda ji pouze nepřímo podporuje, nebo zda slouží primárně k jiným cílům, například dekarbonizaci výroby energie.

Technologie, které jsou pro decentralizaci klíčové, umožňují lokální výrobu, sdílení a řízení energie. Zásadně mění tradiční vztah mezi výrobcem a spotřebitelem, decentralizují rozhodování a posilují energetickou participaci obcí, domácností i menších podniků.

Existuje však i skupina technologií, které mají částečný nebo kontextově podmíněný vztah k decentralizaci. Například technologie vehicle-to-grid (V2G) mohou podporovat decentralizaci, pokud jsou integrovány do komunitních energetických systémů, ale mohou zároveň sloužit i centrálnímu řízení mobility. Podobně Power-to-X nebo geotermální systémy lze využít v komunitním měřítku, avšak typicky fungují ve větších celcích a jejich primárním přínosem bývá snižování emisí, nikoli decentralizace jako taková.

Naopak některé progresivní technologie, nezbytné pro dekarbonizaci, nejsou z hlediska decentralizace zásadní. Patří sem například floating PV, velkokapacitní vodíkové systémy nebo pokročilé průmyslové baterie. Tyto technologie zvyšují efektivitu výroby či zlepšují uhlíkovou bilanci, ale nevytvářejí nové možnosti pro demokratizaci energetiky, lokální soběstačnost ani sdílení energie.

Z tohoto důvodu je vhodné v analytickém rámci rozlišovat mezi technologiemi decentralizace a technologiemi dekarbonizace – dvě oblasti, které se v mnoha případech překrývají, ale nejsou totožné. Tento přístup umožňuje přesněji určit, které technologie by měly být primárně podporovány z veřejných zdrojů v rámci politik rozvoje komunitní energetiky, regionální resilience nebo místní soběstačnosti, a které spadají do jiných domén, například průmyslové transformace či nízkoemisní mobility.

Decentralizace energetiky představuje zásadní strukturální proměnu energetického systému – od centralizované, hierarchické soustavy směrem k síti autonomních a vzájemně propojených uzlů. Tento proces je technologicky, ekonomicky i institucionálně mnohvrstevnatý a vyžaduje nové formy řízení, bezpečnosti i materiálové soběstačnosti. Na základě předchozích kapitol lze vymezit několik klíčových trendů, které budou formovat vývoj decentralizace v horizontu let 2030–2040.

### 1. Autonomie a lokální bilance jako nový základ stability

Decentralizace mění principy fungování energetické soustavy – od modelu založeného na centrální distribuci k modelu lokální rovnováhy. Komunity, firmy i obce se stávají aktivními producenty, spotřebiteli a správci vlastní infrastruktury. Mikrosítě a komunitní úložiště vytvářejí soběstačné energetické celky, které jsou schopny pokrýt většinu vlastní spotřeby a v případě potřeby se krátkodobě oddělit od centrální sítě. Vzniká tak nová vrstva stability energetické sítě, která doplňuje tradiční přenosovou soustavu a zvyšuje celkovou adaptivitu systému.

### 2. Digitalizace a inteligentní řízení jako páteř decentralizace

Digitální infrastruktura se stává klíčovým, i když často neviditelným prvkem energetiky. Pokročilé systémy řízení (EMS), umělá inteligence i prediktivní modely umožňují lokální rozhodování v reálném čase a optimalizaci provozu na základě dat. Vznikají

decentralizované energetické datové prostory (Energy Data Spaces), které propojují výrobce, spotřebitele i distributory bez nutnosti nepřetržitého centrálního řízení. Rozvoj edge computingu a federovaných digitálních dvojčat posiluje autonomii mikrosítí a umožňuje jim reagovat flexibilně a efektivně. Digitalizace tak vytváří provozní základ, bez kterého decentralizace nemůže fungovat.

### 3. Kybernetická bezpečnost a důvěra bez centrálních autorit

Rostoucí počet navzájem propojených zařízení zvyšuje nároky na bezpečnost energetických systémů. Architektury typu Zero Trust, decentralizované identity (SSI) a postkvantová kryptografie posouvají ochranu sítí od centralizované kontroly k adaptivním a distribuovaným mechanismům. Umělá inteligence umožňuje detekci hrozeb v reálném čase a validaci interakcí mezi aktéry bez prostředníků. V decentralizovaných soustavách se tak formuje nový model digitální důvěry založený na transparentnosti, vzájemné ověřitelnosti a vysoké úrovni zabezpečení.

### 4. Resilience a materiálová udržitelnost jako nová dimenze soběstačnosti

Decentralizace se opírá nejen o digitální a provozní autonomii, ale i o materiálovou a environmentální udržitelnost. Recyklace a repase baterií, panelů a výkonové elektroniky posilují cirkulární ekonomiku a snižují závislost na kritických dovozech. Hybridní AC/DC infrastruktura, samo-napravitelné topologie a prediktivní údržba zvyšují fyzickou odolnost sítí. Digitální pasy výrobků (DPP) umožňují sledovat zařízení během celého životního cyklu a podporují odpovědné investiční rozhodování. Odolnost a udržitelnost se tak stávají standardem, nikoli doplňkem decentralizovaných systémů.

### 5. Propojování sektorů a vznik více energetických komunit

Rychlý vývoj Power-to-X, tepelných akumulací a vodíkových technologií umožňuje integraci elektřiny, tepla a plynu do jednoho funkčního celku. Komunity a mikrosítě se tak mění v energetické systémy schopné přeměňovat přebytky elektřiny na teplo či vodík a využívat je sezónně. Decentralizace se tím rozšiřuje i do teplárenství, mobility a průmyslu, čímž posiluje svou systémovou roli napříč energetickým řetězcem.

### 6. Evropský rámec a standardizace jako akcelerátor změny

Evropské politiky – Fit for 55, REPowerEU, Data Act či Cyber Resilience Act – proměňují technologické trendy v institucionální realitu. Standardizace dat, interoperabilita zařízení a otevřená digitální infrastruktura umožňují propojení národních a lokálních systémů a snižují bariéry pro vznik nových tržních modelů. Decentralizace se díky tomu posouvá od pilotních projektů k plošnému modelu, který je technologicky, právně i provozně udržitelný.

## 9 Závěr

Analýza potvrzuje, že decentralizace energetiky představuje zásadní transformační proces zasahující technologickou, ekonomickou, legislativní i sociální dimenzi. Česká republika má příznivé předpoklady stát se aktivním průkopníkem v této oblasti – úspěch však bude záviset na tom, zda se podaří propojit technologické inovace s legislativními změnami a jejich praktickou realizací.

Technologická dimenze ukazuje, že budoucí energetika bude stát na kombinaci komunitní výroby, akumulačních technologií, nových forem decentralizovaných OZE a pokročilé digitalizace. Aby tyto prvky fungovaly jako celek, je nezbytné zajistit flexibilitu a modernizaci

sítí. Bez těchto investic by rychlý růst fotovoltaiky a baterií mohl naopak zvyšovat rizika nestability.

**Implikace pro ČR:** cíleně podporovat akumulaci, flexibilitu a chytrou infrastrukturu, aby decentralizace posilovala stabilitu místo toho, aby ji ohrožovala.

Legislativní rámec se posunul díky Lex OZE II a připravované novelizaci Energetického zákona (Lex OZE III), avšak implementace naráží na pomalé procesy, administrativní zátěž a nedostatečné kapacity.

**Implikace pro ČR:** urychlit transpozici evropských směrnic a promítnout decentralizaci do tarifní politiky, připojovacích podmínek a provozních pravidel.

Ekonomická perspektiva potvrzuje, že decentralizace může snížit náklady na energii, podpořit návratnost investic do OZE a vytvořit nové lokální obchodní modely (P2P, komunitní služby). Tyto přínosy však nejsou samozřejmé – vyžadují dostupné finanční nástroje i pro obce a domácnosti, které nemají rozsáhlé kapacity.

**Implikace pro ČR:** rozšířit dotační a investiční podporu tak, aby na decentralizaci profitovali nejen velcí hráči, ale i menší aktéři.

Sociální a institucionální rovina potvrzuje rostoucí význam participace obcí, firem a občanů. Společenská akceptace a nové formy vlastnictví jsou nezbytné pro dlouhodobou udržitelnost komunitních projektů.

**Implikace pro ČR:** chápat decentralizaci také jako nástroj regionálního rozvoje, nikoli pouze jako technologickou změnu.

Kybernetická bezpečnost a udržitelnost se stávají novými strategickými prioritami. Digitalizace rozšiřuje útokovou plochu a zároveň roste tlak na materiálovou soběstačnost – zejména v oblasti baterií a kritických surovin.

**Implikace pro ČR:** investovat do ochrany datových toků, bezpečnosti IoT zařízení a zároveň rozvíjet kapacity pro recyklaci a cirkulární ekonomiku.

Decentralizace není pouze nástrojem pro splnění klimatických cílů EU, ale také příležitostí k modernizaci ekonomiky, posílení energetické bezpečnosti a rozvoji lokálních komunit. Úspěšná decentralizace energetiky bude závislá na koordinovaném postupu v několika oblastech:

- rychlá a důsledná implementace legislativních změn (Lex OZE III, vyhlášky ERÚ),
- cílené investice do akumulace, flexibility a digitalizace,
- modernizace distribučních soustav a podpora jejich automatizace,
- aktivní zapojení společnosti, obcí a institucí,
- systematická podpora kyberbezpečnosti a cirkulárních materiálových toků.

Pokud se podaří tyto prvky propojit, může se Česká republika zařadit mezi země, které využijí decentralizaci jako strategickou výhodu – pro odolnější, udržitelnější a spravedlivější energetickou soustavu.

Zjištění této analýzy poskytují vstupní rámec pro energeticko-ekonomické modelování v systému TIMES-CZ, zejména při tvorbě scénářů rozvoje decentralizace a dekarbonizace. Identifikované technologie, jejich parametry, účinnosti, investiční náklady či očekávané trendy lze využít jako orientační vstupy modelu.

Je však třeba brát v úvahu, že TIMES-CZ není síťový ani dispečerský model – aspekty jako komunitní energetika, P2P obchodování nebo lokální řízení mikrosítí lze zachytit pouze zjednodušeně. Analýza tak poskytuje především kvalitativní a technologicko-ekonomický základ, který může být dále rozpracován v kvantitativních modelových scénářích.

Na základě analýzy vývojových trendů, vznikajících technologií a identifikovaných výzev lze formulovat několik doporučení, která mohou podpořit rozhodování, investiční plánování a tvorbu veřejných politik v oblasti decentralizace energetiky:

### **1. Rozvoj energetických komunit a mikrosítí**

- Urychlit implementaci novelizace Energetického zákona (Lex OZE III) a souvisejících vyhlášek, aby se otevřel investiční prostor pro obce, domácnosti i podniky.
- Podporovat sdílená bateriová úložiště a P2P platformy, které zvyšují soběstačnost, snižují systémové náklady a posilují lokální energetické toky.
- Vytvářet neaplikovatelné projekty, zejména pro malé obce a regiony bez vlastních expertizních kapacit.

### **2. Podpora akumulace a flexibility**

- Směřovat investice do pokročilých bateriových technologií (solid-state, sodíkové, flow baterie) a umožnit jejich zapojení do tržních mechanismů.
- Podporovat agregaci flexibility prostřednictvím VPP, demand response a integrace elektromobility (V2X), které posílí stabilitu a sníží provozní náklady.
- Realizovat pilotní projekty hybridní akumulace, kombinující bateriová, tepelná a Power-to-X řešení.

### **3. Rozšíření decentralizovaných OZE**

- Podpořit rozvoj plovoucích a „dual-use“ fotovoltaických instalací, které efektivně využívají dostupné plochy a snižují tlak na krajinu.
- Rozvíjet Power-to-X a geotermální systémy jako stabilní doplňky k proměnlivým zdrojům, vhodné pro průmyslové i komunitní projekty.
- Podporovat inovační projekty v dopravě a průmyslu, které využívají lokální zdroje, čímž se posiluje sektorové propojení a energetická soběstačnost.

### **4. Digitalizace a kybernetická bezpečnost**

- Integrovat digitální dvojčata, prediktivní algoritmy a umělou inteligenci do řízení sítí, investičního plánování a provozu mikrosítí.
- Začlenit kybernetickou bezpečnost jako standardní součást všech energetických projektů, od chytrých měřičů až po kritickou infrastrukturu.
- Podporovat samo-napravující se sítě a bezpečnostní technologie chránící data a identitu v decentralizovaných P2P modelech.

### **5. Cirkulární ekonomika a udržitelnost**

- Rozšířit kapacity pro recyklaci a repasi baterií, FV panelů a výkonové elektroniky, což sníží závislost na kritických surovinách a zvýší materiálovou bezpečnost.
- Podporovat modulární a recyklovatelný design technologií, který zjednoduší renovaci, repasi a opětovné využití komponent.

- Zavést standardy sledovatelnosti materiálů (např. Digital Product Passports) pro transparentní řízení environmentální a materiálové stopy.

## **6. Modernizace infrastruktury a strategická koordinace**

- Investovat do modernizace distribučních soustav a inteligentní infrastruktury, aby byly schopny integrovat rostoucí počet decentralizovaných zdrojů.
- Propojit energetiku, digitalizaci, průmysl a dopravu v rámci integrovaného plánování s důrazem na flexibilitu, soběstačnost a efektivní řízení systémů.
- Podporovat výzkum a vývoj v oblastech s vysokým potenciálem soběstačnosti a konkurenceschopnosti ČR, zejména v akumulaci, digitalizaci a cirkulárních technologiích.

## 10 Zdroje

- KAREL, Jakub. Decentralizace energetiky v České republice. Praha: Univerzita Karlova, 2021. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/194853/120490096.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- EY. Can decentralized energy get good enough, fast enough?. Sydney: Ernst & Young, 2023. Dostupné z: [https://www.ey.com/en\\_au/insights/energy-resources/can-decentralized-energy-get-good-enough-fast-enough](https://www.ey.com/en_au/insights/energy-resources/can-decentralized-energy-get-good-enough-fast-enough)
- POLYTECHNIQUE INSIGHTS. What does the future hold for energy storage and decentralised networks?. Paris: École Polytechnique, 2023. Dostupné z: <https://www.polytechnique-insights.com/en/columns/energy/what-does-the-future-hold-for-energy-storage-and-decentralised-networks>
- KARNIADAKIS, G. E. et al. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. arXiv preprint. 2018. Dostupné z: <https://arxiv.org/abs/1810.09859>
- ŠKOBLÍK, Václav. Do Česka přichází komunitní energetika: Jaká vidím její negativa. Ekolist.cz. 2023. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/vaclav-skoblik-do-ceska-prichazi-komunitni-energetika.jaka-vidim-jeji-negativa>
- Energy democracy. Wikipedia, 2025. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_democracy](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_democracy)
- Komunitní energetika v Česku na rozcestí: Podaří se nastartovat sdílení elektřiny? BusinessInfo.cz. Praha: BusinessInfo.cz, 2024. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/clanky/komunitni-energetika-v-cesku-na-rozcesti-podari-se-nastartovat-sdileni-elektriny/>
- Rozvoj komunitní energetiky v ČR. Právní prostor. 2024. Dostupné z: <https://www.pravniprostor.cz/clanky/mezinarodni-a-evropske-pravo/rozvoj-komunitni-energetiky-v-cr>
- ROLAND BERGER. The Future of Europe's Decentralized Energy Market. Munich: Roland Berger GmbH, 2022. Dostupné z: [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/roland\\_berger\\_the\\_future\\_of\\_europes\\_decentralized\\_energy\\_market\\_1.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_the_future_of_europes_decentralized_energy_market_1.pdf)
- European Commission. Strategic Plan for Energy 2020–2024. Brussels: European Commission, 2020. Dostupné z: [https://commission.europa.eu/system/files/2020-10/ener\\_sp\\_2020\\_2024\\_en.pdf](https://commission.europa.eu/system/files/2020-10/ener_sp_2020_2024_en.pdf)
- TARIGAN, R. et al. Decentralised Energy Systems and the Role of Blockchain Technology. Energy Reports. 2023, 9, 1234–1245. DOI 10.1016/j.egyr.2023.05.011. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629623001949>
- PUBLYON. The Shifting Geopolitics of Energy: Implications for the EU and Its Businesses. Brussels: Pablyon Policy Advisors, 2024. Dostupné z: <https://publyon.com/the-shifting-geopolitics-of-energy-implications-for-the-eu-and-its-businesses/>
- Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. Praha: MPO, 2024. Dostupné z: <https://mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/strategicke->

[a-koncepcni-dokumenty/2024/12/Vnitrostatni-plan-Ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu- prosinec-2024 .pdf](#)

Strategic Energy Europe. 279 million aid: Czechia energy storage capacity. Brussels, 2024. Dostupné z: <https://strategicenergy.eu/279-million-aid-czechia-energy-storage-capacity/>

INTERREG Danube. Legislative developments in the Czech Republic: Opportunities and gaps for renewable energy communities. 2024. Dostupné z: <https://interreg-danube.eu/projects/nrgcom/news/legislative-developments-in-the-czech-republic-opportunities-and-gaps-for-renewable-energy-communities>

AXEVERA. Energy transition and legislative reforms in the Czech Republic: A focus on renewables and gas. 2025. Dostupné z: <https://axevera.com/en/2025/04/23/energy-transition-and-legislative-reforms-in-the-czech-republic-a-focus-on-renewables-and-gas/>

Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity. Official Journal of the European Union, L 158/125, 2019. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32019L0944>

Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (RED II). Official Journal of the European Union, L 328/82, 2018. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>

Directive (EU) 2023/2413 on the internal market for renewable gases and hydrogen. Official Journal of the European Union, L 2023/2413, 2023. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32023L2413>

Regulation (EU) 2018/1999 on the Governance of the Energy Union. Official Journal of the European Union, L 328/1, 2018. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32018R1999>

Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Official Journal of the European Union, L 315/1, 2012. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32012L0027>

Directive (EU) 2024/1275 on the energy performance of buildings (EPBD recast). Official Journal of the European Union, L 2024/1275, 2024. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/ces>

EU guidelines for developing the Trans-European Transport Network (TEN-E). Eur-Lex summaries.. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/CS/legal-content/summary/eu-guidelines-for-developing-the-trans-european-transport-network.html>

Network Code on Electricity Emergency and Restoration. Eur-Lex summaries.. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/CS/legal-content/summary/network-code-on-electricity-emergency-and-restoration.html>

Zákon č. 458/2023 Sb., energetický zákon (Lex OZE II). Zákony pro lidi.. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2023-458>

ERÚ. Legislativa a vyhlášky Energetického regulačního úřadu. Energetický regulační úřad. Jihlava, 2024. Dostupné z: <https://www.eru.cz/legislativa>

Zákon č. 165/2012 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů. Zákony pro lidi.. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>

Vláda schválila Národní klimaticko-energetický plán. Energie 21. 2024. Dostupné z: <https://energie21.cz/vlada-schvalila-narodni-klimatico-energeticky-plan/>

MPO. Východiska aktualizace Státní energetické koncepce ČR a souvisejících strategických dokumentů. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2024. Dostupné z: <https://mpo.gov.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vychodiska-aktualizace-statni-energeticke-koncepcce-cr-a-souvisejicich-strategickych-dokumentu--273672/>

SFŽP ČR. Modernizační fond: Dotace a půjčky. Praha: Státní fond životního prostředí, 2025. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/>

Plán obnovy České republiky. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2024. Dostupné z: <https://planobnovy.gov.cz/>

MŽP ČR. Komunitní energetika je o krok blíž do praxe. Tisková zpráva. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2024. Dostupné z: <https://mzp.gov.cz/cz/pro-media-a-verejnost/aktuality/archiv-tiskovych-zprav/komunitni-energetika-je-o-krok-bliz-do>

BVV. Komunitní energetika bude tématem konference URBIS 2025. BVV Veletrhy Brno. 2025. Dostupné z: <https://www.bvv.cz/urbis/aktuality/komunitni-energetika-bude-tematem-konference-urbis-2025>

IS VaVal. Informační systém výzkumu, vývoje a inovací (CEP, RIV). Praha: TC Praha, 2024. Dostupné z: <https://www.isvavai.cz/>

European Commission. e-CORDA – Common Research Data Warehouse. Brussels: DG Research and Innovation, 2024.

Clarivate Analytics. Web of Science Platform. Philadelphia: Clarivate, 2024. Dostupné z: <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/>

European Patent Office. PATSTAT – Worldwide Patent Statistical Database. Munich: EPO, 2024. Dostupné z: <https://www.epo.org/en/searching-for-patents/business/patstat>

Energetický regulační úřad. Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR pro rok 2023. Jihlava, 2024. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/rocní-zpráva-o-provozu-elektrizacni-soustavy-cr-pro-rok-2023>

## **Komunitní energetika**

International Energy Agency. Mini-grids Market Report 2024. Paris: IEA, 2024. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/mini-grids-market-report-2024>

Australian Renewable Energy Agency. Community Batteries: A Cost Benefit Analysis. Canberra: ARENA, 2020. Dostupné z: <https://arena.gov.au/assets/2020/11/community-batteries-cost-benefit-analysis.pdf>

International Renewable Energy Agency. Innovation Landscape Brief: Peer-to-Peer Electricity Trading. Abu Dhabi: IRENA, 2020. Dostupné z: <https://www.irena.org/Publications/2020/Feb/Innovation-landscape-brief-Peer-to-peer-electricity-trading>

MODECO Consortium. Modelling Study on the Role of Energy Communities in the Energy Transition. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/24163>

### **Skladování energie a flexibilita sítě**

Cole, W.; Frazier, A. Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage: 2025 Update. Golden (CO): National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2025. NREL/TP-6A40-93281. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy25osti/93281.pdf>

International Renewable Energy Agency. Electricity Storage Valuation Framework. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Dostupné z: <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Electricity-Storage-Valuation-Framework>

International Energy Agency. Global EV Outlook 2023 – Battery Reuse and Recycling Section. Paris: IEA, 2023. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>

International Renewable Energy Agency. Innovation Landscape Brief: Virtual Power Plants. Abu Dhabi: IRENA, 2023. Dostupné z: <https://www.irena.org/Publications/2023/Apr/Innovation-Landscape-Brief-Virtual-Power-Plants>

Ahmed, E. M. Comprehensive Analysis of Demand Response Pricing Strategies in a Smart Grid Environment Using Particle Swarm Optimization and the Strawberry Optimization Algorithm. Mathematics. 2021, 9, 2338. DOI 10.3390/math9182338. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/math9182338>

### **Obnovitelné zdroje energie**

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Levelized Cost of Electricity: Renewable Energy Technologies 2024. Freiburg: Fraunhofer ISE, 2024. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/cost-of-electricity.html>

World Bank; Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS). Where Sun Meets Water: Floating Solar Handbook for Practitioners (2nd ed.). Washington, DC: World Bank, 2023. Dostupné z: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099420311252218648/idu0a92a8b0e1f4c604e9b098fe0e8251d4dd26b>

National Renewable Energy Laboratory. Annual Technology Baseline 2023 – Geothermal (Hydrothermal/EGS) Cost Tables. Golden (CO): NREL, 2023. Dostupné z: <https://atb.nrel.gov/>

International Energy Agency. Global Hydrogen Review 2023. Paris: IEA, 2023. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>

### **Digitalizace a data v energetice**

European Commission; ETIP SNET. ETIP SNET R&I Roadmap 2020–2030. Brussels: European Commission, 2020. Dostupné z: <https://www.etip-snet.eu/etip-snet-ri-roadmap-2020-2030/>

International Electrotechnical Commission. Virtualizing Power Systems: How Digital Twins Will Revolutionize the Energy Sector. Geneva: IEC, 2020. (IEC White Paper). Dostupné z: <https://www.iec.ch/whitepaper/virtualizing-power-systems>

European Commission, Directorate-General for Energy. Benchmarking Smart Metering Deployment in the EU-28. Brussels: Publications Office of the European Union, 2020. Dostupné z: [https://energy.ec.europa.eu/publications/benchmarking-smart-metering-deployment-eu-28\\_en](https://energy.ec.europa.eu/publications/benchmarking-smart-metering-deployment-eu-28_en)

Javed, H. Optimal Energy Management of a Campus Microgrid Considering Financial and Economic Analysis with Demand Response Strategies. Energy Reports. 2021, 7, 5290–5302. DOI 10.1016/j.egy.2021.08.043. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.043>

European Commission; EnTEC. Common European Energy Data Space – Technical Report. Brussels: Publications Office of the European Union, 2023. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/573661>

### **Kyberbezpečnost a spolehlivost systémů**

Stafford, V. Zero Trust Architecture. Gaithersburg (MD): National Institute of Standards and Technology, 2020. (NIST Special Publication 800-207). DOI 10.6028/NIST.SP.800-207. Dostupné z: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>

European Commission. Digital Identity: Leveraging the SSI Concept to Build Trust. Brussels: European Commission, 2023. Dostupné z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6a3fd9ef-d48e-11ed-afa1-01aa75ed71a1>

Chen, L. et al. NIST Round 3 Report on Post-Quantum Cryptography Standardization. Gaithersburg (MD): National Institute of Standards and Technology, 2022. (NISTIR 8413). DOI 10.6028/NIST.IR.8413. Dostupné z: <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8413>

Feng, J.; Yu, T.; Zhang, K.; Cheng, L. Integration of Multi-Agent Systems and Artificial Intelligence in Self-Healing Subway Power Supply Systems: Advancements in Fault Diagnosis, Isolation, and Recovery. Processes. 2025, 13(4), čl. 1144. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pr13041144>

Kippke Salomón, M. A. Smart Metering as a Regulatory and Technological Enabler for Flexibility in Distribution Networks: Incentives, Devices, and Protocols. Energies. 2025, 18(19), 5269. DOI 10.3390/en18195269. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en18195269>

### **Odolnost a udržitelnost energetických systémů**

Suhail, S. A Framework for Enhancing Cyber Incident Response with Security-Enhancing Digital Twins in Cyber-Physical Systems. IEEE Access. 2024, 12, 45219–45236. DOI 10.1109/ACCESS.2024.3381124. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3381124>

Areola, R. I. Integrated Energy Storage Systems for Enhanced Grid Efficiency: A Comprehensive Review of Technologies and Applications. Energies. 2025, 18(7), 1848. DOI 10.3390/en18071848. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en18071848>

International Energy Agency. Electricity Grids and Secure Energy Transitions: Enhancing the Foundations of Resilient, Sustainable and Affordable Power Systems. Paris: IEA, 2023.

Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions>

Jaradat, T. A Review of Battery Energy Storage Systems for Renewable Energy Penetration in Electrical Power Systems: Environmental Impact, Sizing Methods, Market Features, and Policy Frameworks. Future Batteries. 2025, 1, 100005. DOI 10.1016/j.fubat.2025.100005.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fubat.2025.100005>

Capgemini. World Energy Markets Observatory 2024: 26th Edition. Paris: Capgemini, 2024.

Dostupné z: <https://www.capgemini.com/insights/research-library/world-energy-markets-observatory-2024/>

IEA Bioenergy. Annual Report 2024: Bioenergy – Accelerating to Net Zero. Paris: IEA

Bioenergy, 2025. Dostupné z: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2025/06/IEA-Bioenergy-Annual-Report-2024.pdf>

## Příloha 1: Popis identifikovaných technologií

Oblast	Technologie	Popis
Komunitní energetika	Mikrosítě (C&I / komunitní) / Microgrids (C&I / Community)	Mikrosítě propojují lokální obnovitelné zdroje energie, bateriová úložiště a systémy řízení spotřeby do soběstačných celků. Umožňují spolehlivý provoz i při výpadku centrální sítě a zvyšují využití místní výroby elektřiny. V energetických modelech představují parametr pro simulaci výkonu, účinnosti a ztrát, přičemž posilují decentralizaci tím, že umožňují komunitám fungovat nezávisleji na centrální síti.
	Sdílené akumulární systémy (Community BESS)	Sdílené akumulární systémy slouží více uživatelům k ukládání a sdílení lokálně vyrobené elektřiny. Umožňují efektivnější využití energie z OZE, snižují přetoky do sítě a zvyšují ekonomickou návratnost komunitních projektů. V modelech vystupují jako kapacitní uzly umožňující simulaci lokální bilance, přičemž podporují decentralizaci tím, že nahrazují potřebu centrální akumulace.
	P2P platformy pro sdílení energie / P2P Energy Sharing Platforms	Platformy P2P umožňují přímé obchodování s elektřinou mezi prosumery v rámci jedné lokality. Vytvářejí digitální tržiště, která propojují výrobce, spotřebitele a agregátory bez nutnosti centrálního prostředníka. V modelech zohledňují toky energie i finančních transakcí a podporují decentralizaci tím, že posilují lokální trhy a autonomii účastníků.
	Cenově-signální řízení poptávky (Dynamické tarify) / Price-Signal Demand Management	Dynamické tarify motivují spotřebitele k přizpůsobení spotřeby aktuálnímu stavu výroby a zatížení sítě prostřednictvím cenových signálů. Umožňují pružnější využití energie a lepší integraci obnovitelných zdrojů. V modelech představují parametr elasticity poptávky a přispívají k decentralizaci tím, že přenášejí rozhodování o spotřebě na uživatele.
Oblast	Technologie	Popis
Akumulace	Li-ion BESS (4h, komerční) / Li-ion Battery Energy Storage (4h, Commercial)	Li-ion bateriová úložiště představují standardní technologii pro krátkodobou akumulaci energie. Umožňují rychlé vyrovnávání špiček, stabilizaci napětí a frekvence a zajišťují provozní flexibilitu. V energetických modelech slouží pro simulaci krátkodobé akumulace a podporují decentralizaci tím, že zvyšují soběstačnost lokálních uzlů bez nutnosti centrálních záloh.
	Vanadiová flow baterie / Vanadium Flow Battery	Vanadiové průtočné baterie poskytují dlouhodobé ukládání energie s vysokou životností a nízkou degradací. Umožňují sezónní vyrovnávání výroby a spotřeby v komunitních nebo průmyslových systémech. V modelech zajišťují simulaci dlouhodobější akumulace a přispívají k decentralizaci díky možnosti instalace blízko spotřebitelů.
	Second-life EV baterie / Second-life EV Batteries	Druhoživotní baterie z elektromobilů nacházejí nové využití ve stacionárních úložištích. Nabízejí nižší investiční náklady a ekologický přínos díky prodloužení životního cyklu materiálů. V energetických modelech fungují jako cenově dostupná forma akumulace a posilují decentralizaci díky dostupnosti pro malé a komunitní projekty.
Flexibilita	Virtuální elektrárna (VPP) / Virtual Power Plant (VPP)	Virtuální elektrárny propojují množství menších zdrojů, úložišť a spotřebitelů do jednoho řízeného celku. Umožňují společné poskytování flexibility a obchodování na trzích s elektřinou. V modelech představují agregovanou jednotku řízení výkonu a podporují decentralizaci tím, že propojují lokální zdroje do funkčních celků bez fyzické centralizace.
	Agregovaný Demand Response (ADR) / Aggregated Demand Response (ADR)	Agregovaný Demand Response (řízení poptávky) koordinuje úpravy spotřeby u většího počtu účastníků. Umožňuje reagovat na změny v síti prostřednictvím agregátorů, kteří optimalizují chování zákazníků. V energetických modelech se promítá jako řízená flexibilita poptávky, která snižuje potřebu centrální regulace a podporuje decentralizovanou rovnováhu systému.
Oblast	Technologie	Popis
OZE	Agrovoltaika (Agri-PV)	Agrovoltaické systémy kombinují výrobu elektřiny z fotovoltaiky s pěstováním plodin na stejné ploše. Optimalizují využití půdy, zvyšují odolnost vůči suchu a snižují tepelné zatížení vegetace. V energetických

		modelech umožňují simulaci duální produkce energie a biomasy a podporují decentralizaci využitím nových ploch blízko spotřeby.
	Plovoucí FV (FPV) / Floating PV	Plovoucí fotovoltaické elektrárny instalované na vodních plochách využívají chladič efekt vody ke zvýšení účinnosti panelů. Šetří prostor a snižují odpařování z nádrží. V modelech přispívají k lokální výrobě energie v místech bez volné půdy a podporují decentralizaci využitím nevyužívaných ploch.
	Geotermální systémy EGS / Enhanced Geothermal Systems	Pokročilé geotermální systémy (Enhanced Geothermal Systems) využívají uměle vytvořené geotermální rezervoáry k výrobě stabilní energie nezávislé na počasí. Jsou vhodné pro regiony bez přirozených zdrojů horké vody. V energetických modelech zajišťují stabilní výkon v decentralizovaných soustavách a doplňují proměnlivé OZE.
Sektorová vazba	Power-to-X (AEL/PEM/SOEC)	Power-to-X technologie přeměňují přebytky elektřiny na vodík nebo syntetická paliva prostřednictvím elektrolyzérů. Umožňují sezónní akumulaci energie a propojení sektorů výroby, tepla a mobility. V modelech reprezentují sektorové vazby, které posilují decentralizaci rozšířením energetických toků i mimo elektrickou síť.
<b>Oblast</b>	<b>Technologie</b>	<b>Popis</b>
Digitalizace	EMS / AI platformy / Energy Management Systems (AI-based)	Systémy EMS s umělou inteligencí optimalizují řízení výroby, akumulace a spotřeby energie. Využívají prediktivní algoritmy a data z měřičů k automatickému vyrovnávání lokálních soustav. V modelech se promítají jako vrstva řízení, která umožňuje decentralizovanou optimalizaci bez centrálního dispečinku.
	Digitální dvojče provozu / Operational Digital Twin	Digitální dvojče vytváří virtuální model energetického systému propojený s reálnými daty. Umožňuje simulovat a optimalizovat provoz v reálném čase. V energetických modelech podporuje prediktivní řízení a decentralizaci tím, že umožňuje autonomní rozhodování na úrovni uzlů.
	Smart metering	Pokročilé měřicí systémy umožňují obousměrnou komunikaci mezi spotřebiteli, výrobcí a distributory. Poskytují data pro řízení spotřeby a tarifní optimalizaci. V modelech představují zdroj dat o chování uživatelů a umožňují detailní simulaci decentralizovaných toků energie.
	Edge řídicí jednotky / Edge AI Controllers	Edge řídicí jednotky integrují výpočetní výkon přímo do zařízení v síti. Umožňují lokální zpracování dat a rozhodování s minimální latencí. V modelech zajišťují distribuované řízení a podporují decentralizaci tím, že omezují závislost na centrální infrastruktuře.
	Energetické data spaces / Energy Data Spaces	Energetické datové prostory představují infrastrukturu pro bezpečné sdílení dat mezi komunitami, agregátory a provozovateli sítí. Umožňují transparentní a interoperabilní výměnu informací v reálném čase. V modelech zajišťují datové propojení uzlů a podporují decentralizaci prostřednictvím distribuované datové architektury.
<b>Oblast</b>	<b>Technologie</b>	<b>Popis</b>
Kyberbezpečnost	Zero Trust architektura pro IoT / Zero-Trust IoT Architecture	Zero Trust architektura uplatňuje princip neustálého ověřování a minimálních oprávnění v IoT sítích. Zvyšuje bezpečnost lokálních uzlů a omezuje šíření útoků. V modelech zajišťuje spolehlivost decentralizovaných systémů, které nemají centrální perimetr.
	Federované identity (SSI) / Self-Sovereign Identities (SSI)	Federované identity umožňují uživatelům a zařízením spravovat své přístupové údaje bez centrální autority. Posilují datovou suverenitu a důvěru v digitální transakce. V modelech podporují decentralizaci tím, že umožňují autentizaci a autorizaci na úrovni jednotlivých uzlů.
	Post-quantová kryptografie / Post-Quantum Cryptography	Postkvantová kryptografie zavádí nové algoritmy odolné vůči kvantovým útokům. Zajišťuje dlouhodobou bezpečnost dat a komunikace v distribuovaných systémech. V modelech zvyšuje důvěryhodnost a životnost bezpečnostní vrstvy decentralizovaných sítí.
	AI-based Intrusion Detection Systems (AI-IDS)	Systémy pro detekci narušení využívají strojové učení k identifikaci anomálií v datových tocích. Dokážou rychle reagovat na nové hrozby a předcházet výpadkům. V energetických modelech posilují stabilitu a spolehlivost decentralizovaných uzlů.
	Cyber testbedy a simulátory / Cybersecurity Testbeds and Simulators	Testovací prostředí umožňují ověřování odolnosti distribuovaných energetických sítí vůči kybernetickým útokům. Simulují realistické scénáře a vyhodnocují účinnost obranných opatření. V modelech přispívají k hodnocení rizik a plánování bezpečnostních investic v decentralizovaných systémech.
<b>Oblast</b>	<b>Technologie</b>	<b>Popis</b>

Odolnost	Digitální dvojče aktiv / Asset Digital Twin	Virtuální model fyzického zařízení nebo systému, který průběžně sleduje jeho stav, degradaci a provozní historii prostřednictvím sensorových dat. Umožňuje přesnou simulaci reálného chování komponent a predikci budoucích poruch či poklesu účinnosti. Díky propojení s řídicími systémy (např. EMS) podporuje prediktivní údržbu, optimalizuje provozní parametry a snižuje provozní náklady. V decentralizované energetice posiluje lokální autonomii mikrosítí, které mohou samostatně plánovat servisní zásahy a řídit provoz svých zařízení bez závislosti na centrálním dispečinku.
	Hybridní AC/DC sítě / Hybrid AC/DC Networks	Hybridní sítě kombinují střídavé (AC) a stejnosměrné (DC) propojení, což umožňuje efektivnější přenos energie mezi různými typy zařízení. Snižují ztráty a zvyšují stabilitu v distribuovaných systémech s vysokým podílem obnovitelných zdrojů. V energetických modelech umožňují detailní simulaci toků energie a přispívají k decentralizaci propojením různých lokálních subsystémů.
	Self-healing sítě / Self-Healing Grids	Self-healing technologie využívají senzory a algoritmy k automatické detekci a izolaci poruch v síti. Umožňují obnovu napájení bez zásahu člověka a minimalizují výpadky. V modelech zlepšují odhad spolehlivosti systému a podporují decentralizaci tím, že posilují autonomii jednotlivých uzlů.
	Prediktivní údržba infrastruktury / Predictive Maintenance of Infrastructure	Prediktivní údržba využívá sensorová data, umělou inteligenci a digitální dvojčata k odhadu poruch a plánování servisních zásahů. Zvyšuje efektivitu provozu a prodlužuje životnost zařízení. V modelech představuje faktor snižující OPEX a přispívá k decentralizaci tím, že umožňuje samostatnou správu zařízení v lokálních sítích.
Udržitelnost	Cirkulární komponenty a materiály / Circular Components and Materials	Cirkulární komponenty vycházejí z principů opětovného použití, recyklace a opravitelnosti zařízení. Snižují environmentální stopu a závislost na dovozu surovin. V energetických modelech přispívají ke snižování emisí a nákladů a podporují decentralizaci tím, že umožňují lokální výrobu a údržbu komponent.
	Bioinspirované chlazení a tepelné systémy / Bio-Inspired Cooling and Thermal Systems	Bioinspirované technologie využívají principy z přírody pro efektivní odvod tepla a řízení teploty energetických zařízení. Zvyšují účinnost provozu a snižují potřebu aktivního chlazení. V modelech představují faktor zlepšující účinnost systémů a podporují decentralizaci díky energeticky úspornému provozu v lokálních instalacích.

## Příloha 2: Doplňkové technologie a nástroje podpory decentralizace

### Komunitní a sdílená energetika

Oblast	Technologie	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Popis	Zdroj
Rozvoj energetických komunit a mikrosítí	Mikrosítě	Výkon: 50–50000 kW Profil krytí špičky: 20–100 % Ztráty v síti: 1–8 %	1400 €/kW	49 €/kW/rok	Mikrosítě propojují lokální obnovitelné zdroje energie, bateriová úložiště a systémy řízení spotřeby do soběstačných celků. Umožňují spolehlivý provoz i při výpadku centrální sítě a zvyšují využití místní výroby elektřiny. V energetických modelech představují parametr pro simulaci výkonu, účinnosti a ztrát, přičemž posilují decentralizaci tím, že umožňují komunitám fungovat nezávisleji na centrální síti.	<a href="https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/67821.pdf">https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/67821.pdf</a>
	Energetické datové platformy	Počet uživatelů: 100–100000 Latence dotazů: 5–100 ms Dostupnost dat: 99–99,99 %	88 €/uživatel	7 €/uživatel/rok	Datové platformy integrují informace o výrobě, spotřebě, fakturaci a sdílení energie v komunitách. Zajišťují transparentnost a umožňují efektivní správu lokálních zdrojů. V modelech se sleduje počet uživatelů, latence a kompatibilita. Decentralizaci posilují tím, že dávají komunitám kontrolu nad daty i obchodem s energií.	<a href="https://smarten.eu/reports/2024-smartEn-map-on-wholesale-markets-enabling-demand-side-flexibility-in-europe/">https://smarten.eu/reports/2024-smartEn-map-on-wholesale-markets-enabling-demand-side-flexibility-in-europe/</a>
	Community batteries	Kapacita: 30–5000 kWh; Účinnost: 85–95 %; Cykly: 3 000–15 000	455 €/kWh	15 €/kWh/rok	Sdílená bateriová úložiště umožňují ukládat energii pro více domácností a optimalizovat využití místní výroby. Přispívají ke stabilizaci sítě a snižují náklady. V modelech se uplatňuje kapacita, účinnost a počet cyklů. Decentralizaci	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129382">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129382</a>

					podporují tím, že posilují soběstačnost celých komunit.	
Ekonomické a participativní modely	P2P obchodování	Objem transakcí: 0,1–50 MWh/den Počet transakcí: 100–30 000/den Flexibilita: 0,1–5 MW	56 €/uživatel	6 €/uživatel/rok	Platformy pro peer-to-peer obchodování dovolují uživatelům prodávat a nakupovat elektřinu přímo mezi sebou, bez nutnosti zapojení tradičních obchodníků. To zvyšuje flexibilitu, umožňuje optimalizovat využití místní výroby a podporuje nové ekonomické modely. V modelech lze sledovat objem transakcí, ceny či počet účastníků. Přispívá k decentralizaci tím, že energii spravují samotní spotřebitelé a producenti.	<a href="https://doi.org/10.3390/app14177618">https://doi.org/10.3390/app14177618</a>
	Tokenizace energetických aktiv	Počet tokenů: 10000–10000000 Podíl výroby krytý tokeny: 1–100 %	53 €/uživatel	6 €/uživatel/rok	Platformy pro peer-to-peer obchodování dovolují uživatelům prodávat a nakupovat elektřinu přímo mezi sebou, bez nutnosti zapojení tradičních obchodníků. To zvyšuje flexibilitu, umožňuje optimalizovat využití místní výroby a podporuje nové ekonomické modely. V modelech lze sledovat objem transakcí, ceny či počet účastníků. Přispívá k decentralizaci tím, že energii spravují samotní spotřebitelé a producenti.	<a href="https://arxiv.org/abs/2111.04467">https://arxiv.org/abs/2111.04467</a>
	IOTA P2P obchod	Latence: 1–10 ms Propustnost: 100–1000 TPS Objem energie: 0,1–50 MWh/den	67 €/uživatel	9 €/uživatel/rok	Technologie využívající protokol IOTA umožňuje rychlé a levné transakce energie mezi uživateli, bez poplatků typických pro klasické blockchainy. To otevírá prostor pro masivní množství mikrotransakcí a pružnější obchodní modely. V modelech se sleduje objem transakcí, latence nebo náklady. Decentralizaci podporuje tím, že posouvá obchodování energie směrem k plně distribuovanému a uživatelsky řízenému systému.	<a href="https://doi.org/10.17531/ein/201172">https://doi.org/10.17531/ein/201172</a>
	RETINA	Počet transakcí: 1000–100000/den Latence: 10–200 ms	105 €/uživatel	10 €/uživatel/rok	RETINA je blockchainová architektura s využitím PKI (Public Key Infrastructure), která umožňuje bezpečné a ověřitelné	<a href="https://www.sciencedirect.com/article/abs/pii/S2352467724000031">https://www.sciencedirect.com/article/abs/pii/S2352467724000031</a>

					obchodování s energií. Přináší transparentnost a důvěru mezi účastníky trhu. V modelech se hodnotí počet transakcí, latence či náklady. Decentralizaci podporuje tím, že distribuuje kontrolu nad obchodními procesy a eliminuje nutnost centrálních zprostředkovatelů.	
	PETra	Počet uživatelů: 100–10000 Latence: 20–300 ms; Míra anonymizace: 90–100 %	81 €/uživatel	7 €/uživatel/rok	PETra je technologie zaměřená na ochranu soukromí při anonymní P2P výměně energie. Umožňuje uživatelům obchodovat s elektřinou bez ztráty anonymity, což zvyšuje důvěru a bezpečnost účastníků. V modelech se uplatňuje přes počet uživatelů, latenci nebo míru anonymizace. Decentralizaci posiluje tím, že usnadňuje zapojení jednotlivců do energetických komunit bez obav o ochranu osobních dat.	<a href="https://www.dre.vanderbilt.edu/~schmidt/PDF/Middleware2017_KK1.pdf">https://www.dre.vanderbilt.edu/~schmidt/PDF/Middleware2017_KK1.pdf</a>
	Blockchain smart kontrakty	Počet kontraktů: 100–100000 Objem energie: 1–100 MWh/den	56 €/uživatel	7 €/uživatel/rok	Smart kontrakty využívající blockchain umožňují automatizované účtování a sdílení energie mezi účastníky trhu. Transakce probíhají transparentně, bezpečně a bez nutnosti prostředníka, což zjednodušuje obchodní procesy. V modelech se uplatňuje počet kontraktů, objem transakcí nebo náklady. Decentralizaci podporují tím, že finanční i energetické toky spravují samotní uživatelé.	<a href="https://doi.org/10.3390/su151813640">https://doi.org/10.3390/su151813640</a>
	Dynamice NEM	Objem sdílení: 0,1–10 MWh/den Počet tarifních intervalů: 15–96/den Úspory: 5–30 %	35 €/uživatel	2 €/uživatel/rok	Dynamic Net Energy Metering přináší flexibilní tarify, které zohledňují aktuální ceny a objem sdílené energie. Umožňuje spravedlivější rozdělení přínosů mezi výrobce a spotřebitele. V modelech lze využít časové tarify, objem sdílení a dosažené úspory. Přispívá k decentralizaci tím, že motivuje účastníky k efektivnějšímu zapojení do sdílení energie.	<a href="https://www.mdpi.com/2076-3417/14/17/7618">https://www.mdpi.com/2076-3417/14/17/7618</a>

	Kooperativní vlastnictví	Podíly vlastnictví: 1–100 % ROI: 2–8 % Podíl vlastní výroby: 10–100 %	14 €/uživatel	1 €/uživatel/rok	Model kooperativního vlastnictví umožňuje sdílené financování obnovitelných zdrojů a společné využívání jejich přínosů v komunitě. Posiluje ekonomickou soběstačnost a přináší přímý užitek členům komunity. V modelech se promítá do podílů vlastnictví, ROI a podílu vlastní výroby. Decentralizaci podporuje tím, že zdroje nejsou vlastněny jednou firmou, ale přímo komunitou.	<a href="https://www.crowdfundres.eu/wp-content/uploads/2018/02/Crowdfunding-Renewable-Energy_protected.pdf">https://www.crowdfundres.eu/wp-content/uploads/2018/02/Crowdfunding-Renewable-Energy_protected.pdf</a>
	Dynamické tarifní systémy	Elasticita poptávky: 5–20 % Počet účastníků: 100–50000 Snížení špičky zatížení: 5–25 %	28000 €/projekt	1470 €/projekt/rok	Dynamické tarify umožňují nastavovat ceny elektřiny podle aktuální dostupnosti obnovitelných zdrojů a zatížení sítě. Uživatelé jsou motivováni posouvat spotřebu do doby levnější energie. V modelech se využívá elasticita poptávky a počet účastníků. Decentralizaci podporují tím, že propojují výrobu a spotřebu přímo na lokální úrovni.	<a href="https://restservice.epri.com/publicdownload/00000000001016360/0/Product?">https://restservice.epri.com/publicdownload/00000000001016360/0/Product?</a>
Zapojení občanů a lokálních aktérů	Crowdfunding platformy	Počet investorů: 50–50000 Úspěšnost kampaní: 60–95 %	21000 €/platforma	4900 €/platforma/rok	Crowdfundingové platformy umožňují společnostem investovat i menší částky do projektů obnovitelné energie a komunitní infrastruktury. Tím rozšiřují možnosti financování a zapojují širší veřejnost do transformace energetiky. V modelech se využívá počet investorů nebo objem získaného kapitálu. Decentralizaci posilují tím, že vlastnictví a kontrola nad projekty se více rozprostírá mezi komunitu.	<a href="https://www.citizee.eu/wp-content/uploads/2021/12/Citizen-funding-market-assessment-report.pdf">https://www.citizee.eu/wp-content/uploads/2021/12/Citizen-funding-market-assessment-report.pdf</a>
	Gamifikace	Aktivní uživatelé: 200–50000 Interakce: 1 000–500000/měsíc Změna spotřeby: 3–15 %	70000 €/systém	2450 €/systém/rok	Gamifikační aplikace motivují uživatele k aktivní účasti na řízení spotřeby energie prostřednictvím soutěží, odměn a interaktivních nástrojů. Zvyšují povědomí a podporují změnu chování spotřebitelů směrem k efektivnějšímu využívání energie. V modelech se hodnotí počet aktivních uživatelů, interakce nebo dosažená změna spotřeby. Decentralizaci	<a href="https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3380">https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3380</a>

					podporují tím, že ze společnosti dělají aktivní účastníky energetického systému.	
	Komunitní služby	Zapojené domácnosti: 20–5000 Úspory nákladů: 5–40 %	280 €/kWh	7300 €/projekt/rok	Komunitní služby propojují energetické projekty s lokálními aktivitami, například sdílenou mobilitou, údržbou infrastruktury nebo sociálními programy. Posilují vazby v komunitě a přinášejí širší přidanou hodnotu než jen energetickou. V modelech se uplatňuje počet zapojených domácností, dosažené úspory nebo rozšíření služeb. Decentralizaci podporují tím, že propojují energii s každodenním životem komunity.	<a href="https://data.parliament.uk/DepositedPapers/Files/DEP2025-0557/Smart_Metering_2025_Costs_and_Benefits_Report.pdf">https://data.parliament.uk/DepositedPapers/Files/DEP2025-0557/Smart_Metering_2025_Costs_and_Benefits_Report.pdf</a>

## Skladování energie a flexibilita sítě

Oblast	Technologie	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Popis	Zdroj
Bateriová úložiště (vč. second-life)	Li-ion bateriová úložiště	Kapacita: 10–500000 kWh Účinnost: 88–95 %; Cykly: 3000–8000	280 €/kWh	4 €/kWh/rok	Lithium-iontové baterie představují dnes nejrozšířenější technologii akumulace energie v malých i velkých instalacích. Umožňují vyrovnávat rozdíly mezi výrobou a spotřebou a zvyšují spolehlivost dodávek z OZE. V modelech se uplatňují parametry jako kapacita, účinnost nebo životnost. K decentralizaci přispívají tím, že podporují lokální soběstačnost komunit a flexibilitu spotřeby.	<a href="https://atb.nrel.gov/electricity/2024/utility-scale-battery-storage">https://atb.nrel.gov/electricity/2024/utility-scale-battery-storage</a>
	Solid-state baterie	Energetická hustota: 350–450 Wh/kg Cykly: 5000–10000; Účinnost: 90–98 %	490 €/kWh	8 €/kWh/rok	Solid-state baterie využívají pevný elektrolyt, což zvyšuje bezpečnost, energetickou hustotu a životnost oproti klasickým Li-ion článkům. Jsou zatím v pilotní fázi, ale slibují zásadní pokrok v akumulaci. V modelech lze zapracovat	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360</a>

					energetickou hustotu, účinnost či počet cyklů. Decentralizaci posílí tím, že umožní bezpečnější a efektivnější ukládání energie na úrovni komunit i průmyslu.	
Sodíkové baterie	Kapacita: 50–2000 kWh Účinnost: 80–90 %; Cykly: 2000–4000	175 €/kWh	3 €/kWh/rok	Sodíkové baterie využívají dostupnější suroviny než lithium, což může snížit náklady a závislost na kritických materiálech. Jsou vhodné zejména pro stacionární aplikace. V modelech se hodnotí kapacita, účinnost a životnost. Podporují decentralizaci tím, že umožňují levnější skladování energie v lokálních projektech.	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360</a>	
Vanadiové flow baterie	Kapacita: 1–200 MWh Účinnost: 70–85 % Cykly: 12000–20000	420 €/kWh	7 €/kWh/rok	Flow baterie na bázi vanadu umožňují dlouhodobé ukládání energie s vysokou životností a nízkou degradací. Hodí se pro vyrovnávání větších výkyvů v síti a zajištění stability. Parametry v modelech zahrnují kapacitu, účinnost a počet cyklů. K decentralizaci přispívají stabilizací obnovitelných zdrojů v komunitních a regionálních projektech.	<a href="https://www.pnnl.gov/vanadium-redox-flow-battery">https://www.pnnl.gov/vanadium-redox-flow-battery</a>	
Second-life baterie z EV	Zbytková kapacita: 60–85 % Cykly: 1000–3000; Účinnost: 80–92 %	140 €/kWh	2 €/kWh/rok	Repasované baterie z elektromobilů nacházejí druhý život ve stacionárních úložištích. I když už nemají plnou kapacitu, stále mohou sloužit pro vyrovnávání výkyvů mezi výrobou a spotřebou v komunitách. V modelech se hodnotí zbytková kapacita, účinnost a počet cyklů. K decentralizaci přispívají tím, že umožňují levné a udržitelné rozšíření akumulčních kapacit na lokální úrovni.	<a href="https://www.nature.com/articles/s41467-024-48554-0">https://www.nature.com/articles/s41467-024-48554-0</a>	
Bateriové systémy pro EV	Kapacita: 40–120 kWh Účinnost: 90–98 % Cykly: 1000–3000	77 €/kWh	1 €/kWh/rok	Bateriové systémy s vysokou hustotou energie pohánějí elektromobily a určují jejich dojezd i provozní spolehlivost. V modelech se využívají parametry kapacity, účinnosti a životnosti. Decentralizaci podporují tím, že elektromobily mohou	<a href="https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024">https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024</a>	

					fungovat jako mobilní úložiště energie a poskytovat flexibilitu sítím prostřednictvím obousměrného nabíjení.	
	Sodík-síra baterie (Na-S)	Kapacita: 100–10000 kWh Účinnost: 75–90 % Cykly: 2000–5000	298 €/kWh	11 €/kWh/rok	Sodíkovo-sírové baterie nabízejí vysokou kapacitu a dlouhou životnost při relativně nízkých nákladech. Jsou vhodné pro stacionární aplikace a síťovou akumulaci. V modelech se hodnotí kapacita, účinnost a počet cyklů. Decentralizaci podporují tím, že poskytují dostupné úložiště pro komunitní energetiku.	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360</a>
	Metal-air baterie (Zn-air, Al-air)	Kapacita: 1–10 kWh/kg Účinnost: 60–75 % Cykly: 300–1000	315 €/kWh	9 €/kWh/rok	Baterie na bázi kov-vzduch využívají reakci kovu s kyslíkem a dosahují vysoké energetické hustoty. Jsou perspektivní pro dlouhodobé skladování energie. V modelech se sleduje kapacita, účinnost a životnost. K decentralizaci přispívají tím, že umožňují efektivní ukládání energie na lokální úrovni.	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360</a>
	Second-life EV baterie	Zbytková kapacita: 60–85 % Cykly: 1000–3000 Účinnost: 80–92 %	140 €/kWh	4 €/kWh/rok	Použité baterie z elektromobilů lze znovu využít pro stacionární úložiště energie. To prodlužuje jejich životnost a snižuje náklady. V modelech se hodnotí zbytková kapacita a počet cyklů. Decentralizaci podporují tím, že rozšiřují možnosti komunitní akumulace.	<a href="https://iea-es.org/wp-content/uploads/public/IEA-ES-Task-36-Carnot-Batteries_Executive-Summary.pdf">https://iea-es.org/wp-content/uploads/public/IEA-ES-Task-36-Carnot-Batteries_Executive-Summary.pdf</a>
Tepelné a alternativní formy akumulace	Carnot baterie	Kapacita: 10–500 MWh Účinnost: 35–60 % Cykly: 5000–20000	158 €/kWh	3 €/kWh/rok	Carnot baterie ukládají energii ve formě tepla a následně ji zpět konvertují na elektřinu. Jsou vhodné pro dlouhodobé a levné skladování energie. V modelech lze zpracovat účinnost, kapacitu a počet cyklů. Přispívají k decentralizaci tím, že umožňují komunitám levně uchovávat energii v delších časových horizontech.	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360</a>
	LAES (Liquid Air Energy Storage)	Kapacita: 20–500 MWh Účinnost: 45–65 % Cykly: 10000–30000	455 €/kWh	10 €/kWh/rok	LAES technologie ukládá energii prostřednictvím zkapalnění vzduchu, který se při potřebě elektřiny zpět expanduje v turbíně. Hodí se pro dlouhodobé úložiště s	<a href="https://docs.nrel.gov/docs/fy24osti/88744.pdf">https://docs.nrel.gov/docs/fy24osti/88744.pdf</a>

					větší kapacitou. V modelech se využívá kapacita a účinnost. K decentralizaci přispívá tím, že nabízí robustní řešení pro vyrovnávání lokálních sítí.	
	Geochemické skladování	Objem: 10–1000 GWh Účinnost: 40–70 % Doba skladování: 1–365 dní	105 €/kWh	1 €/kWh/rok	Geochemické skladování ukládá energii do podzemních struktur, což představuje levný a dlouhodobý způsob akumulace. Je vhodné pro stabilizaci velkých systémů i lokálních sítí. V modelech lze pracovat s objemem, účinností a stabilitou. Decentralizaci podporuje tím, že umožňuje regionální soběstačnost při využívání OZE.	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113360</a>
	Tepelné baterie	Kapacita: 10–1000 MWh Účinnost: 50–85 % Cykly: 3 000–20000	140 €/kWh	4 €/kWh/rok	Tepelné baterie ukládají energii ve formě tepla, které lze později využít pro výrobu elektřiny nebo tepla. Jsou vhodné pro dlouhodobou a levnou akumulaci. V modelech se hodnotí účinnost, kapacita a cykly. Decentralizaci podporují tím, že poskytují stabilní úložiště energie pro lokální systémy.	<a href="https://docs.nrel.gov/docs/fy25osti/92831.pdf">https://docs.nrel.gov/docs/fy25osti/92831.pdf</a>
Agregace, řízení zátěže a flexibilita	Virtuální elektrárny (VPP)	Kapacita: 1–500 MW Flexibilita: 1–200 MW Doba aktivace: 1–15 min	210000 €/projekt	11 €/kW/rok	Virtuální elektrárny propojují množství menších zdrojů, úložišť a spotřebičů do jednoho digitálně řízeného celku. Díky tomu lze tyto jednotky řídit podobně jako klasické elektrárny, ale s mnohem větší flexibilitou. V modelech se zohledňuje agregovaná kapacita a flexibilní výkon. K decentralizaci přispívají tím, že z malých lokálních zdrojů vytvářejí stabilní a konkurenceschopné energetické celky.	<a href="https://smarten.eu/wp-content/uploads/2025/02/Market-Monitor-for-DSF-2024.pdf">https://smarten.eu/wp-content/uploads/2025/02/Market-Monitor-for-DSF-2024.pdf</a>
	Demand Response (DR) systémy	Flexibilita: 0,1–50 MW Odezva: 0,03–2 s Náklady: 5–50 €/MWh	122500 €/systém	12250 €/systém/rok	DR systémy umožňují řízení poptávky u průmyslových i rezidenčních odběrů prostřednictvím cenových signálů nebo přímého řízení spotřebičů. Pomáhají vyrovnávat špičky v síti a zvyšují její stabilitu. V modelech se hodnotí poskytovaná flexibilita a rychlost odezvy.	<a href="https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024">https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024</a>

					Decentralizaci podporují tím, že dělají ze spotřebitelů aktivní účastníky regulace sítě.	
	Vehicle-to-Everything (V2X)	Kapacita baterií: 40–120 kWh/EV Flexibilita: 1–20 kW/EV Počet vozidel: 10–5000	385 €/kW	18 €/kW/rok	Technologie V2X umožňuje obousměrné nabíjení elektromobilů a jejich propojení se sítí, domácnostmi či dalšími zařízeními. EV se tak mění na mobilní úložiště energie. V modelech se využívá kapacita baterií, počet vozidel a flexibilita. Decentralizaci posilují tím, že dělají z elektromobilů aktivní součást komunitní energetiky.	<a href="https://smarten.eu/wp-content/uploads/2025/02/Market-Monitor-for-DSF-2024.pdf">https://smarten.eu/wp-content/uploads/2025/02/Market-Monitor-for-DSF-2024.pdf</a>

## Decentralizované obnovitelné zdroje

Oblast	Technologie	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Popis	Zdroj
Lokální geotermální a PtX technologie	Plnicí stanice a infrastruktura	Průtok: 200–1000 kg/den Tlak: 350–700 bar Využití: 20–80 %	1050000 €/stanice	52500 €/stanice/rok	Vodíkové plnicí stanice umožňují využití vodíku v dopravě a průmyslu. Zajišťují distribuci a rozvoj vodíkové mobility. V modelech se sleduje průtok, tlak a míra využití. Přispívají k decentralizaci tím, že umožňují regionům rozvíjet vlastní dopravní infrastrukturu nezávislou na fosilních palivech.	<a href="https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024">https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024</a>
	SOEC elektrolyzéry (Solid Oxide)	Účinnost: 75–90 % Teplota: 650–850 °C Životnost: 20000–40000 h	875 €/kW	26 €/kW/rok	SOEC elektrolyzéry využívají vysokoteplotní procesy a odpadní teplo, čímž dosahují vyšší účinnosti při výrobě vodíku. Jsou vhodné pro průmyslové aplikace s dostupným teplem. V modelech se zohledňuje účinnost, životnost a provozní teplota. K decentralizaci přispívají tím, že umožňují efektivně integrovat vodík do průmyslových ekosystémů.	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC133972">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC133972</a>

	Elektrické pece (ocel, cement, sklo)	Příkon: 1–100 MW Účinnost: 80–95 % Kapacita: 10000–10000000 t/rok	1050000 €/MW (= 1000–2000 €/kW)	36750 €/MW/rok	Elektrické pece umožňují nahrazovat spalování fosilních paliv elektřinou z obnovitelných zdrojů. Jsou vhodné pro energeticky náročná odvětví, jako je výroba oceli, cementu či skla, kde významně snižují emise CO <sub>2</sub> . V modelech se zohledňuje potřebný příkon, účinnost a výrobní kapacita. Decentralizaci podporují tím, že umožňují lokální průmyslové provozy napájet přímo z komunitních OZE.	<a href="https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions">https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions</a>
	Indukční ohřevy a tepelná čerpadla pro průmysl	Výkon: 0,5–50 MW Účinnost: 200–500 % (COP 2–5) Teplotní rozsah: 30–200 °C	525000 €/MW	17500 €/MW/rok	Tyto technologie slouží k efektivnímu zajištění nízké – a středně teplotních procesů, například v chemickém nebo potravinářském průmyslu. Nahrazují plynové kotle a snižují spotřebu primárních fosilních paliv. V modelech se pracuje s výkonem, účinností a teplotním rozsahem. Decentralizaci podporují tím, že zvyšují soběstačnost průmyslových zón využívajících místní OZE.	<a href="https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps">https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps</a>
	Vozidla s palivovými články (FCEV)	Spotřeba H <sub>2</sub> : 0,7–1,5 kg/100 km Výkon: 50–300 kW Dojezd: 300–800 km	52500 €/vozidlo	2275 €/vozidlo/rok	FCEV využívají vodík pro výrobu elektřiny přímo ve vozidle a nabízejí delší dojezd než bateriové elektromobily. Jsou vhodné zejména pro nákladní a městskou dopravu. V modelech se uplatňuje spotřeba vodíku, výkon a dojezd. K decentralizaci přispívají tím, že spojují lokální výrobu a distribuci vodíku s dopravní infrastrukturou.	<a href="https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024">https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024</a>
	Hybridní elektrifikace železnic	Spotřeba energie: 3–15 kWh/km Kapacita baterií: 0,5–5 MWh Podíl elektrifikace tratě: 20–80 %	2100000 €/km tratě	91000 €/km/rok	Kombinace bateriových systémů a částečné elektrifikace tratí umožňuje provoz vlaků bez plné závislosti na dieselových motorech. V modelech se zohledňuje spotřeba energie a kapacita. Decentralizaci podporuje tím, že snižuje potřebu rozsáhlých centrálních investic do infrastruktury a umožňuje lokální elektrifikaci úseků tratí.	<a href="https://smarten.eu/wp-content/uploads/2025/02/Market-Monitor-for-DSF-2024.pdf">https://smarten.eu/wp-content/uploads/2025/02/Market-Monitor-for-DSF-2024.pdf</a>

	Power-to-X (PtX)	Účinnost konverze: 40–70 % Kapacita: 1–100 MW Doba využití: 2000–6000 h/rok	1295 €/kW	109 €/kW/rok	PtX technologie přeměňují elektřinu z OZE na paliva, chemikálie nebo teplo (např. vodík, metan). Umožňují flexibilní využití přebytků energie. V modelech se využívá účinnost konverze a kapacita. Decentralizaci podporují tím, že propojují lokální výrobu s dopravou a průmyslem.	<a href="https://www.irena.org/publications/2023/Dec/Global-Hydrogen-Trade-to-Meet-the-1-5C-Climate-Goal">https://www.irena.org/publications/2023/Dec/Global-Hydrogen-Trade-to-Meet-the-1-5C-Climate-Goal</a>
	Geotermální technologie nové generace (EGS)	Výkon: 1–50 MW Účinnost: 10–20 % Dostupnost: 80–95 %	3150 €/kWh	70 €/kW/rok	Enhanced Geothermal Systems (EGS) umožňují využívat hlubinnou geotermální energii i v oblastech s nižší přirozenou aktivitou. Poskytují stabilní a bezemisní zdroj elektřiny i tepla. V modelech se hodnotí výkon, účinnost a dostupnost zdroje. Decentralizaci podporují tím, že poskytují komunitám stabilní základní zatížení z lokálních zdrojů.	<a href="https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023">https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023</a>
Nové typy OZE (např. plovoucí PV, dual-use)	Elektromobilita (nabíjecí stanice)	Výkon bodu: 7–350 kW Počet bodů na stanici: 1–20 Využití: 5–60 %	54250 €/bod (stanice)	1610 €/bod/rok	Nabíjecí stanice pro elektromobily jsou klíčovou infrastrukturou pro rozvoj bezemisní dopravy. Umožňují rozšiřovat podíl elektromobility a efektivně využívat elektřinu z OZE. V modelech se sleduje výkon, počet nabíjecích bodů a míra využití. K decentralizaci přispívají tím, že umožňují lokální sdílení energie a integraci elektromobilů do komunitních sítí.	<a href="https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/">https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/</a>
	Floating PV	Instalovaný výkon: 100–100000 kWp Účinnost: 16–22 % Zvýšení výnosu: 5–15 %	700 €/kWp	22 €/kWp/rok	Plovoucí fotovoltaické elektrárny využívají vodní plochy a přinášejí dodatečný výkon bez záboru půdy. Mají vyšší účinnost díky chlazení vodní hladinou. V modelech se zohledňuje instalovaný výkon a výroba. Decentralizaci podporují tím, že umožňují komunitám využít lokální vodní zdroje pro výrobu energie.	<a href="https://www.irena.org/publications/2023/Nov/Floating-Solar-Market-Report-2023">https://www.irena.org/publications/2023/Nov/Floating-Solar-Market-Report-2023</a>
	Dual-use OZE (např. FV na parkovištích)	Instalovaný výkon: 100–10000 kWp Využití ploch: 50–100 % Podíl stínění: 20–80 %	840 €/kWp	35 €/kWp/rok	Technologie kombinující výrobu energie a jiné funkce, například solární panely nad parkovišti nebo polnohospodářskými plochami. Zvyšují efektivitu využití prostoru. V modelech se sleduje	<a href="https://smarten.eu/wp-content/uploads/2025/02/Market-Monitor-for-DSF-2024.pdf">https://smarten.eu/wp-content/uploads/2025/02/Market-Monitor-for-DSF-2024.pdf</a>

					instalovaný výkon a souběžné využití ploch. Decentralizaci podporují tím, že přinášejí OZE přímo do měst a komunit.
--	--	--	--	--	---

## Digitalizace a inteligentní řízení

Oblast	Technologie	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Popis	Zdroj
Predikce, digital twins, flexibilní řízení	Federované učení s blockchainem	Počet uzlů: 10–1000 Latence: 50–500 ms Predikční přesnost: 90–99 %	80500 €/projekt	10500 €/projekt/rok	Federované učení umožňuje sdílet a trénovat prediktivní modely bez centrálního úložiště dat, přičemž blockchain zajišťuje bezpečnost a transparentnost. To zvyšuje efektivitu predikce výroby a spotřeby a zároveň chrání soukromí. Parametry v modelech zahrnují počet uzlů, latenci a přesnost. Přispívá k decentralizaci tím, že správa a využívání dat probíhá distribuovaně mezi účastníky.	<a href="https://www.mdpi.com/2076-3417/14/20/9459">https://www.mdpi.com/2076-3417/14/20/9459</a>
	EMS platformy	Predikční chyba: 3–15 % Počet zdrojů: 10–10000 Využití flexibility: 10–70 %	70000 €/platforma	7000 €/platforma/rok	EMS systémy slouží k optimalizaci výroby a spotřeby energie na úrovni domácností, podniků nebo komunit. Využívají predikci spotřeby a výroby k efektivnímu využívání dostupných zdrojů. V modelech se promítají do parametrů jako predikční chyba nebo využití flexibility. Decentralizaci posilují tím, že umožňují komunitám aktivně řídit vlastní energetické toky.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054422300316X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054422300316X</a>

Internet of Energy (IoE)	Počet zařízení: 1000–1000000 Latence: 10–200 ms Dostupnost: 99–99,99 %	122500 €/platforma	14000 €/platforma/rok	Internet of Energy využívá IoT a digitální propojení k inteligentnímu řízení zdrojů, úložišť a spotřebičů. Umožňuje sledovat a optimalizovat energetické toky v reálném čase. V modelech se promítá do počtu připojených zařízení, latence a spolehlivosti. K decentralizaci přispívá tím, že umožňuje lokální síťovou inteligenci a vyšší míru samořízení komunitních sítí.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723014841">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723014841</a>
Modulární mikrosítě s AI	Kapacita: 50–5000 kW Latence řízení: 10–200 ms Účinnost: 90–98 %	280000 €/mikrosíť	24500 €/mikrosíť/rok	Modulární mikrosítě využívající umělou inteligenci dokážou autonomně optimalizovat nabídku a poptávku energie v reálném čase. Reagují na změny výroby z OZE i spotřeby, čímž zvyšují efektivitu a stabilitu. V modelech se uplatňuje kapacita, účinnost nebo latence. Decentralizaci podporují tím, že komunitám umožňují fungovat zcela soběstačně a bez závislosti na centrálním řízení.	<a href="https://docs.nrel.gov/docs/fy19osti/67821.pdf">https://docs.nrel.gov/docs/fy19osti/67821.pdf</a>
AI/ML prediktivní modely	Predikční chyba: 2–12 % Odezva: 50–500 ms Počet vstupních datových toků: 100–100000	140000 €/platforma	22750 €/platforma/rok	Algoritmy umělé inteligence a strojového učení dokážou předpovídat výrobu z obnovitelných zdrojů i spotřebu energie v domácnostech či průmyslu. To umožňuje optimalizovat tok elektřiny, lépe využívat flexibilitu a předcházet přetížení sítě. V modelech se hodnotí predikční chyba, rychlost odezvy a využití flexibility. Decentralizaci podporují tím, že umožňují komunitám samostatně optimalizovat svou energetickou bilanci.	<a href="https://iea.blob.core.windows.net/assets/601eaec9-ba91-4623-819b-4ded331ec9e8/EnergyandAI.pdf">https://iea.blob.core.windows.net/assets/601eaec9-ba91-4623-819b-4ded331ec9e8/EnergyandAI.pdf</a>
Digitální platformy pro sdílení	Objem sdílení: 0,1–100 MWh/den Počet účastníků: 50–50000 Transakční latence: 10–200 ms	80500 €/platforma	10500 €/platforma/rok	Tyto platformy vytvářejí lokální trhy, kde mohou uživatelé obchodovat s přebytky energie v reálném čase. Transparentně propojují výrobce a spotřebitele v rámci jedné komunity či regionu. V modelech se uplatňuje objem sdílené energie, počet účastníků a cena. Decentralizaci posilují	<a href="https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Peer-to-peer_electricity_trading_2020.pdf">https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Peer-to-peer_electricity_trading_2020.pdf</a>

					tím, že energie zůstává v místě výroby a její využití řídí samotní uživatelé.	
AI platformy pro řízení sítí	Predikční chyba: 2–10 % Optimalizační přínos: 5–20 % Odezva systému: 50–500 ms	245000 €/platforma	38500 €/platforma/rok		Systémy využívající strojové učení a analýzu big data k optimalizaci toků elektřiny, předcházení výpadkům a zvyšování efektivity. AI platformy využívají strojové učení a analýzu velkých dat k optimalizaci toků elektřiny, prevenci výpadků a zvyšování efektivity sítí. V modelech se hodnotí predikční chyba, optimalizační přínosy a doba odezvy systému. Decentralizaci podporují tím, že umožňují komunitám lépe řídit lokální zdroje a spotřebu bez závislosti na centrálním operátorovi.	<a href="https://www.iea.org/reports/power-systems-in-transition">https://www.iea.org/reports/power-systems-in-transition</a>
Digitální dvojče distribuční nebo přenosové sítě	Počet uzlů: 1000–200000 Časová odezva: 1–60 s Přesnost simulace: 90–99 %	385000 €/projekt	38500 €/projekt/ rok		Digitální dvojče představuje virtuální model reálné sítě, který umožňuje testovat scénáře, simulovat provoz a předvídat poruchy. V modelech se hodnotí rozlišení modelu, přesnost simulace a časová odezva. Decentralizaci podporuje tím, že umožňuje komunitám a provozovatelům lépe plánovat investice a provoz na lokální úrovni.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248472500263X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248472500263X</a>
Siemens GridScale X	Počet sledovaných uzlů: 1 000–200000 Přesnost predikce: 95–99 % Latence: 50–500 ms	525000 €/projekt	65625 €/projekt/ rok		Tato platforma kombinuje AI s digitálním dvojčetem a umožňuje detailní prediktivní řízení sítí. Poskytuje nástroje pro přesnou predikci a optimalizaci v reálném čase. V modelech se uplatňuje počet sledovaných uzlů a přesnost predikce. K decentralizaci přispívá tím, že zpřístupňuje pokročilé řízení i menším regionálním sítím.	<a href="https://www.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/gridscale-x.html">https://www.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/gridscale-x.html</a>
Predikční software a algoritmy	Predikční chyba: 2–15 % Časové rozlišení: 1–60 min Integrace se SCADA: 50–100 %	122500 €/platforma	12250 €/platforma/rok		Modely pro krátkodobou předpověď poptávky využívají AI, historická data i vstupy z IoT senzorů. Umožňují optimalizovat výrobu a spotřebu a předcházet výpadkům. V modelech se promítá predikční chyba, časové rozlišení a	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809924006519">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809924006519</a>

					integrace se SCADA. Decentralizaci podporují tím, že umožňují komunitám efektivně plánovat využívání vlastní energie.	
	Self-healing grids (samo napravující se sítě)	Počet chráněných uzlů: 100–20000 Doba obnovy: 0,5–60 s Snížení SAIDI/SAIFI: 30–70 %	290500 €/rozvodna	28525 €/rozvodna/rok	Samo napravující se sítě dokážou v reálném čase detekovat poruchy, izolovat postižené úseky a automaticky přeměrovat energii jinou cestou. Tím minimalizují výpadky a zvyšují spolehlivost dodávek. V modelech se hodnotí doba obnovy, snížení SAIDI/SAIFI a počet chráněných uzlů. Decentralizaci podporují tím, že posilují autonomii lokálních sítí a jejich schopnost fungovat bez zásahu centrálního operátora.	<a href="https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions">https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions</a>
Smart metering a edge computing	IoT senzory, smart metering	Počet senzorů: 100–50000 Frekvence měření: 1–600 s Přesnost: 95–99,9 %	175 €/kus	11 €/kus/rok	Senzory umožňují nepřetržitou diagnostiku výkonových zařízení a sítí. Sledují stav komponent a pomáhají předcházet neplánovaným výpadkům. V modelech se hodnotí počet měřených bodů, frekvence měření a přesnost. Decentralizaci podporují tím, že umožňují komunitním provozovatelům provádět levnou a efektivní údržbu.	<a href="https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-grid-cost-benefit-analysis">https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-grid-cost-benefit-analysis</a>
	5G/LoRaWAN sítě	Latence: 1–50 ms Šířka pásma: 0,1–1000 Mbps Pokrytí zařízení: 1000–1000000	52500 €/sít'	7000 €/sít'/rok	Pokročilé komunikační technologie, jako 5G a LoRaWAN, zajišťují rychlé a spolehlivé přenosy dat mezi zařízeními v energetických systémech. To je klíčové pro okamžité reakce na změny výroby a spotřeby. V modelech se sleduje latence, šířka pásma a spolehlivost. Decentralizaci umožňují tím, že propojují velké množství lokálních zdrojů a spotřebitelů do flexibilní digitální sítě.	<a href="https://www.eca.europa.eu/lits/ecadocuments/sr22_03/sr_security-5g-networks_en.pdf">https://www.eca.europa.eu/lits/ecadocuments/sr22_03/sr_security-5g-networks_en.pdf</a>
	Chytré měřiče (AMM/AMI)	Frekvence měření: 1–900 s Přesnost: 98–99,9 % Přenesená data:	158 €/kus	11 €/kus/rok	Digitální měřiče umožňují detailní sledování spotřeby v reálném čase a poskytují data pro aktivní řízení spotřebitelů. V modelech se hodnotí	<a href="https://data.parliament.uk/DepositedPapers/Files/DEP2025-0557/Smart_Metering_2025_">https://data.parliament.uk/DepositedPapers/Files/DEP2025-0557/Smart_Metering_2025_</a>

		0,1–5 MB/den/měřič			frekvence měření, přesnost a objem dat. K decentralizaci přispívají tím, že dávají domácnostem a komunitám kontrolu nad vlastní spotřebou.	<a href="#">Costs and Benefits Report.pdf</a>
	Pokročilé monitorovací systémy (DMS/EMS)	Počet připojených bodů: 1000–200000 Latence: 10–500 ms Optimalizační přínos: 5–20 %	140000 €/projekt	7000 €/projekt/rok	Tyto platformy shromažďují data z chytrých měřičů a senzorů a umožňují centrální i lokální optimalizaci sítě. V modelech se využívá počet připojených bodů, latence a optimalizační přínosy. Decentralizaci podporují tím, že propojují různé lokální zdroje a spotřebitele do flexibilních komunitních sítí..	<a href="https://iea.blob.core.windows.net/assets/cd69028a-da78-4b47-b1bf-7520cdb20d70/Power_systems_in_transition.pdf">https://iea.blob.core.windows.net/assets/cd69028a-da78-4b47-b1bf-7520cdb20d70/Power_systems_in_transition.pdf</a>
	Edge computing v energetice	Latence zpracování: 1–20 ms Počet uzlů: 10–10000 Propustnost: 10–1000 Mbps	38500 €/uzel	3325 €/uzel/rok	Edge computing přináší zpracování dat blíže k samotným zdrojům a spotřebičům, čímž snižuje latenci a zvyšuje spolehlivost řízení. Umožňuje decentralizovanou optimalizaci. V modelech se uplatňuje latence, propustnost a počet uzlů. Decentralizaci posiluje tím, že umožňuje lokální rozhodování bez centrální infrastruktury.	<a href="https://www.osti.gov/servlets/purl/2479469">https://www.osti.gov/servlets/purl/2479469</a>

## Kybernetická bezpečnost a ochrana dat

Oblast	Technologie	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Popis	Zdroj
Kryptografie a přístupové architektury	MIWO-FOPID algoritmus	Doba odezvy: 1–50 ms Přesnost regulace: 95–99 % Stabilita: vysoká (damping ratio 0,7–1,0)	105000 €/projekt	14000 €/projekt/rok	Pokročilý regulační algoritmus MIWO-FOPID zajišťuje stabilitu mikrosítí i při kybernetických útocích. Pomáhá udržovat frekvenci a spolehlivý provoz bez ohledu na vnější vlivy. V modelech se využívají parametry jako doba odezvy, přesnost a stabilita systému. Decentralizaci podporuje	<a href="https://www.mdpi.com/1996-1073/16/13/4972">https://www.mdpi.com/1996-1073/16/13/4972</a>

					tím, že posiluje odolnost komunitních sítí proti narušení.	
Anonymizační a pseudo-anonymizační nástroje	Zpracované záznamy: 10000–100000000 Míra anonymizace: 90–100 % Rychlost: 5000–500000 záznamů/s	52500 €/projekt	10500 €/projekt/rok	Tyto softwarové technologie zajišťují ochranu soukromí při zpracování dat z chytrých měřičů a IoT zařízení. Umožňují sdílení informací bez rizika odhalení identity uživatelů. V modelech se sleduje počet zpracovaných záznamů, míra anonymizace a rychlost zpracování. Decentralizaci podporují tím, že zvyšují důvěru společnosti v zapojení do komunitní energetiky.	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129301">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129301</a>	
Šifrovaná komunikace (TLS, VPN, PLC Security)	Latence: 5–50 ms Propustnost: 10–1000 Mbps Počet chráněných zařízení: 100–50000	38500 €/projekt	5250 €/projekt/rok	Zabezpečené komunikační protokoly chrání data přenášená mezi IoT zařízeními a centrálními platformami. Minimalizují riziko odposlechu nebo manipulace. V modelech se zohledňuje latence, propustnost a počet zařízení. Decentralizaci podporují tím, že umožňují bezpečné a spolehlivé propojení tisíců zařízení v lokálních sítích.	<a href="https://www.nist.gov/publications/sp-800-52r2-guidelines-for-tls">https://www.nist.gov/publications/sp-800-52r2-guidelines-for-tls</a>	
QKD (Quantum Key Distribution) systémy	Délka trasy: 5–120 km Rychlost: 1–100 kbps Míra chyb: 0,5–5 %	875000 €/projekt	65625 €/projekt/rok	QKD využívá principy kvantové fyziky k bezpečné distribuci šifrovacích klíčů, což prakticky eliminuje možnost odposlechu. Tyto systémy představují nejvyšší úroveň ochrany dat. V modelech se hodnotí délka trasy, rychlost přenosu a míra chyb. Decentralizaci podporují tím, že přinášejí pokročilou úroveň zabezpečení i pro komunitní a regionální energetické sítě.	<a href="https://www.etsi.org/technologies/quantum-key-distribution">https://www.etsi.org/technologies/quantum-key-distribution</a>	
Postkvantová kryptografie	Doba operace: 1–20 ms Počet podporovaných klíčů: 10000–1000000 Bezpečnost: vysoká (PQ-ready)	52500 €/projekt	10500 €/projekt/rok	Postkvantové šifrovací algoritmy odolávají útokům kvantových počítačů. Zajišťují dlouhodobou bezpečnost dat v energetických systémech. V modelech se hodnotí míra bezpečnosti a výpočetní náročnost. Decentralizaci podporují tím, že chrání distribuované systémy před budoucími hrozbami.	<a href="https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography">https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography</a>	

	Zero Trust architektura	Počet přístupů/den: 10000–10000000 Latence ověření: 5–50 ms Zabráněné incidenty: 90–99 %	80500 €/projekt	14000 €/projekt/rok	Zero Trust vychází z principu „nedůvěřuj nikomu, vždy ověřuj“. Každý přístup k síti je kontrolován a ověřován. V modelech se uplatňuje počet ověřených přístupů a úroveň zabezpečení. Decentralizaci podporuje tím, že chrání lokální sítě bez nutnosti centrální autority..	<a href="https://www.nist.gov/publications/sp-800-207-zero-trust-architecture">https://www.nist.gov/publications/sp-800-207-zero-trust-architecture</a>
	Hardware Security Modules (HSM)	Kapacita klíčů: 10000–1000000 Rychlost: 1000–100000 operací/s Úroveň zabezpečení: FIPS 140-3 level 3–4	21000 €/zařízení	5250 €/zařízení/rok	HSM jsou specializovaná zařízení pro bezpečnou správu šifrovacích klíčů a autentizaci. Zajišťují fyzickou i digitální ochranu citlivých dat. V modelech se sleduje kapacita klíčů, rychlost a úroveň zabezpečení. Decentralizaci podporují tím, že posilují důvěru a bezpečnost v komunitních systémech.	<a href="https://www.nist.gov/publications/fips-140-3-security-requirements-for-cryptographic-modules">https://www.nist.gov/publications/fips-140-3-security-requirements-for-cryptographic-modules</a>
Bezpečnost IoT zařízení a datových sítí	IDS/IPS systémy (Intrusion Detection/Prevention)	Chráněné uzly: 100–20000 Detekční čas: 1–10 ms Falešné poplachy: 0,1–3 %	70000 €/projekt	8750 €/projekt/rok	IDS/IPS systémy monitorují provoz energetických sítí a v reálném čase detekují nebo blokují kybernetické útoky. Chrání kritické uzly a zajišťují spolehlivost dodávek energie. V modelech se hodnotí počet chráněných uzlů, rychlost detekce a míra falešných poplachů. Decentralizaci podporují tím, že posilují bezpečnost lokálních sítí a umožňují komunitám bezpečně fungovat nezávisle na centrálních operátorech.	<a href="https://www.enisa.europa.eu/publications/good-practices-for-security-of-smart-grids">https://www.enisa.europa.eu/publications/good-practices-for-security-of-smart-grids</a>
	SIEM platformy (Security Information and Event Management)	Události: 10000–500000/s Latence reakce: 50–500 ms Kapacita úložiště: 1–100 TB	140000 €/platforma	21000 €/platforma/rok	SIEM platformy shromažďují a analyzují bezpečnostní události z různých částí energetických systémů. Umožňují rychle reagovat na hrozby a poskytují celkový přehled o bezpečnostní situaci. V modelech se sleduje počet událostí za sekundu, kapacita úložiště a rychlost odezvy. Decentralizaci podporují tím, že poskytují komunitám i menším provozovatelům nástroje na úrovni velkých hráčů.	<a href="https://www.enisa.europa.eu/publications/cybersecurity-of-smart-grids">https://www.enisa.europa.eu/publications/cybersecurity-of-smart-grids</a>

	Bezpečnostní frameworky pro IoT	Počet zařízení: 1000–200000 Odezva aktualizací: 0,1–5 s Úroveň zabezpečení: 90–99,9 %	59500 €/projekt	7438 €/projekt/rok	Tyto platformy poskytují správu identit, přístupů a aktualizací pro rozsáhlé sítě IoT zařízení. Zajišťují integritu a dlouhodobou bezpečnost systémů. V modelech se využívá počet zařízení, rychlost aktualizací a úroveň zabezpečení. Decentralizaci podporují tím, že chrání kritické prvky lokálních komunitních sítí.	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC122889">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC122889</a>
	Digitální identita zařízení (Blockchain ID)	Počet zařízení: 1000–1000000 Latence ověření: 20–200 ms Úroveň zabezpečení: 95–99,9 %	24500 €/platforma	7000 €/platforma/rok	Blockchainová identita zajišťuje bezpečnou a transparentní identifikaci IoT zařízení v energetice. Zvyšuje důvěru v data a usnadňuje správu sítí. V modelech se využívá počet zařízení a úroveň zabezpečení. Decentralizaci podporuje tím, že umožňuje spolehlivou integraci velkého množství distribuovaných zařízení.	<a href="https://www.mdpi.com/2071-1050/14/4/2073">https://www.mdpi.com/2071-1050/14/4/2073</a>

## Odolnost a udržitelnost energetických systémů

Oblast	Technologie	Parametry využitelné v modelech	CAPEX (EUR, 2024 v běžných cenách) – průměrná cena	OPEX (EUR/rok) – průměrná cena	Popis	Zdroj
Cirkulární ekonomika (recyklace)	Recyklační linky	Kapacita: 1000–50000 t/rok Účinnost recyklace: 85–98 % Čistota výstupu: 90–99 %	7000000 €/linka	227500 €/linka/rok	Recyklační technologie umožňují získávat zpět klíčové suroviny, jako je lithium, kobalt nebo nikl, z použitých baterií. Tím snižují závislost na těžbě a podporují cirkulární ekonomiku. V modelech se pracuje s kapacitou zpracování a účinností recyklace. Decentralizaci podporují tím, že zajišťují dlouhodobou dostupnost materiálů potřebných pro komunitní	<a href="https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024">https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024</a>

					úložiště a zlevňují lokální energetická řešení.	
	Pokročilé recyklační technologie (např. pyrolytická recyklace FV panelů)	Kapacita: 500–20000 t/rok Míra recyklace: 90–99 % Získání kritických surovin: 70–95 %	6300000 €/linka	220500 €/linka/rok	Pokročilé postupy umožňují efektivně recyklovat složité kompozitní materiály s vyšší výtěžností. Přinášejí větší míru zpětného získání kritických surovin. V modelech se hodnotí účinnost recyklace a kapacita. Decentralizaci podporují tím, že posilují materiálovou soběstačnost lokálních energetických projektů.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421523001808">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421523001808</a>
Modulární systémy, environmentální dopady	Modulární konstrukce zařízení	Podíl recyklovatelných částí: 60–95 % Životnost: 10–25 let Podíl repasovatelných modulů: 70–100 %	210000 €/projekt	7350 €/projekt/rok	Zařízení navržená modulárně se dají snadno demontovat, opravovat a opětovně využívat. To prodlužuje jejich životnost a usnadňuje recyklaci. V modelech lze sledovat podíl recyklovatelných částí a životnost. Decentralizaci podporují tím, že umožňují komunitám spravovat vlastní zařízení udržitelně a s nižšími náklady.	<a href="https://www.irena.org/publications/2023/Mar/Innovation-Outlook-Modular-and-Digital-Energy-Systems">https://www.irena.org/publications/2023/Mar/Innovation-Outlook-Modular-and-Digital-Energy-Systems</a>
	Platformy pro sledovatelnost uhlíkové stopy	Podíl sledovaných komponent: 30–100 % Přesnost dat: 90–99 % Počet sledovaných parametrů: 10–100	122500 €/platforma	14000 €/platforma/rok	Digitální nástroje sledují životní cyklus zařízení a materiálů včetně emisí CO <sub>2</sub> . Poskytují transparentní data o environmentálních dopadech a podporují odpovědné investice. V modelech se využívá podíl sledovaných komponent a přesnost dat. Decentralizaci podporují tím, že komunitám dávají nástroje pro řízení jejich klimatického dopadu.	<a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC133234">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC133234</a>
	Certifikace a sledovatelnost	Počet auditovaných dodavatelů: 10–5000 Rozsah dat: 50–200 atributů	70000 €/platforma	10500 €/platforma/rok	Digitální platformy umožňují auditovat původ surovin a zajišťují transparentnost dodavatelských řetězců. To posiluje důvěru v	<a href="https://www.oecd.org/environment/green-business-and-resource-">https://www.oecd.org/environment/green-business-and-resource-</a>

	dodavatelských řetězců	Přesnost dat: 90–99 %			udržitelnost technologií. V modelech se sleduje počet auditovaných dodavatelů a rozsah dat. Decentralizaci podporují tím, že dávají komunitám nástroje k zajištění etických a udržitelných zdrojů.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546823000323">efficiency/due-diligence-mining.htm</a>
	Monitoring environmentálních dopadů (ESG IoT)	Počet senzorů: 50–50000 Frekvence měření: 1–600 s Přesnost měření: 90–99,9 %	700 €/senzor	35 €/senzor/rok	IoT senzory měří environmentální vlivy, jako je spotřeba vody, kvalita ovzduší nebo emise CO <sub>2</sub> během provozu zařízení. Poskytují data pro řízení udržitelnosti. V modelech se hodnotí počet senzorů, četnost měření a přesnost. Decentralizaci podporují tím, že poskytují lokálním komunitám detailní data o jejich environmentálním profilu.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546823000323">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546823000323</a>
	Digitální pasy produktů (Digital Product Passports)	Podíl označených produktů: 30–100 % Počet atributů: 20–200 Integrace s ERP: 50–100 %	70000 €/platforma	10500 €/platforma/rok	Digitální pasy uchovávají informace o původu, složení a možnostech recyklace zařízení či komponent. Umožňují efektivní údržbu a podporují cirkulární ekonomiku. V modelech se sleduje podíl označených produktů a integrace s ERP systémy. Decentralizaci podporují tím, že usnadňují správu a recyklaci technologií přímo v komunitách.	<a href="https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b09c0de9-2d3e-11ee-a8af-01aa75ed71a1">https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b09c0de9-2d3e-11ee-a8af-01aa75ed71a1</a>
	Green mining (nízkoemisní těžba surovin)	Emise CO <sub>2</sub> : 5–40 kg/t Spotřeba vody: 0,2–2 m <sup>3</sup> /t Spotřeba energie: 50–300 kWh/t	2800000 €/projekt	133000 €/projekt/rok	Green mining využívá technologie snižující emise CO <sub>2</sub> , spotřebu vody a energie při těžbě surovin. Zajišťuje udržitelnější dodavatelský řetězec. V modelech se sleduje úspora emisí a vody na jednotku těžby. Decentralizaci podporuje tím, že zajišťuje dostupnost	<a href="https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions">https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions</a>

					materiálů pro lokální energetické projekty.	
	Modulární prefabrikované energetické systémy	Kapacita: 100–20000 kW Flexibilita výkonu: 50–200 %	245000 €/systém	10500 €/systém/ rok	Prefabrikované systémy umožňují rychlou výstavbu modulárních energetických řešení, například mikrosítí nebo akumulačních bloků. Snižují náklady i čas realizace. V modelech se hodnotí životnost, flexibilita a kapacita. Decentralizaci podporují tím, že usnadňují zavádění energetických řešení přímo v komunitách.	<a href="https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/88291.pdf">https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/88291.pdf</a>
Adaptivní a prediktivní řízení pro odolnost	Robustní kabely a odolné komponenty	Délka kabelu: 1–100 km Napěťová třída: 10–220 kV	245000 €/km	8400 €/km/rok	Pokročilé vysokonapěťové kabely a komponenty odolné extrémním podmínkám zajišťují dlouhodobou spolehlivost přenosové infrastruktury. Jsou navrženy tak, aby zvládaly klimatické i mechanické zátěže. V modelech se zohledňuje délka kabelu, napěťová třída a životnost. Decentralizaci podporují tím, že zajišťují stabilní provoz sítí i v menších regionech a komunitách.	<a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/10438232">https://ieeexplore.ieee.org/document/10438232</a>
	Adaptivní sítě (Adaptive Grids)	Doba reakce: 10–200 ms Míra redundance: 10–40 %	455000 €/uzel	34125 €/uzel/rok	Adaptivní sítě dokážou měnit topologii a provozní režimy v závislosti na aktuálních podmínkách a potřebách. To zvyšuje flexibilitu a schopnost reagovat na výkyvy ve výrobě a spotřebě. V modelech se hodnotí doba reakce, míra redundance a spolehlivost. Decentralizaci podporují tím, že umožňují komunitním sítím rychle se přizpůsobovat místním podmínkám.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261924007059">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261924007059</a>

	Pokročilé prediktivní modely odolnosti	Predikční přesnost: 90–99 % Časová odezva: 0,5–10 s Počet analyzovaných uzlů: 1000–50000	210000 €/projekt	22750 €/projekt/rok	Tyto AI modely dokážou předpovídat poruchy způsobené počasím, přetížením nebo jinými faktory. Umožňují provozovatelům přijímat preventivní opatření a optimalizovat investice. V modelech se uplatňuje predikční přesnost, odezva a počet analyzovaných uzlů. Decentralizaci podporují tím, že zajišťují vyšší stabilitu a bezpečnost lokálních sítí.	<a href="https://www.mdpi.com/1996-1073/17/3/457">https://www.mdpi.com/1996-1073/17/3/457</a>
	IoT senzory a online monitoring	Počet měřených bodů: 10–50 000 Frekvence měření: 1–600 s Přesnost: 95–99,9 %	875 €/kus	79 €/kus/rok	Senzory umožňují nepřetržitou diagnostiku výkonových zařízení a sítí. Sledují stav komponent a pomáhají předcházet neplánovaným výpadkům. V modelech se hodnotí počet měřených bodů, frekvence měření a přesnost. Decentralizaci podporují tím, že umožňují komunitním provozovatelům provádět levnou a efektivní údržbu.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723007474">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723007474</a>
	AI pro prediktivní údržbu	Predikční přesnost: 85–98 % Počet analyzovaných bodů: 100–50000 Doba odezvy: 0,1–10 s	192500 €/platforma	21000 €/platforma/rok	Algoritmy strojového učení vyhodnocují provozní data a předpovídají potenciální poruchy zařízení. To umožňuje plánovat údržbu efektivně a minimalizovat náklady. V modelech se sleduje predikční přesnost, doba odezvy a počet analyzovaných bodů. Decentralizaci podporují tím, že umožňují malým provozovatelům využívat moderní metody řízení bez velkých centrálních systémů.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546822000667">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546822000667</a>