



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

REALIZOVATELNOST PLÁNŮ DEKARBONIZACE EU Z POHLEDU PRODUKČNÍCH KAPACIT

FEASIBILITY OF EU DECARBONISATION PLANS FROM THE PRODUCTION CAPACITIES POINT OF VIEW

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Vařejka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. Tomáš Vařejka
Studijní program:	Energetické a termofluidní inženýrství
Studijní obor:	Technika prostředí
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

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

Realizovatelnost plánů dekarbonizace EU z pohledu produkčních kapacit

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Dekarbonizace, čili snížení využívání fosilních zdrojů, je hlavním nástrojem řady plánů pro přechod současné společnosti k bezemisní (uhlíkově neutrální) do roku 2050. Tyto plány jsou zpracovávány jak na národní, tak mezinárodní úrovni s různými časovými horizonty. V prostředí Evropské unie jsou nejznámějšími plány Green Deal, Fit for 55 a Energiewende.

Cíle diplomové práce:

Zpracovat kritickou studii na realizovatelnost plánů dekarbonizace EU, soustředěné na region centrální Evropy. Obsahem studie bude zhodnocení:

- jednotlivých plánů dekarbonizace, Green Deal, Fit for 55, Energiewende, jak jsou úspěšné, jak se plní;
- potřeby nových zařízení (OZE, flexibilita, další primární zdroje energie);
- stavu výrobních a realizačních kapacit, jak by se tyto kapacity musely navýšit, aby se teoreticky dalo dosáhnout cílů dekarbonizace.

Seznam doporučené literatury:

European Green Deal. European Council and the Council of the EU [online]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>

Eurostat [online]. EU. Dostupné také z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předložená diplomová práce má za cíl zpracování kritické studie na realizovatelnost plánů dekarbonizace v EU z pohledu produkčních kapacit. Dekarbonizace, neboli snižování množství emitovaných skleníkových plynů ze spalování fosilních paliv, je hlavním nástrojem pro přechod k bezemisní společnosti. Diplomová práce představuje hlavní evropské dekarbonizační plány, jako jsou Green Deal, nebo Fit for 55 a hodnotí dosavadní klimatickou politiku v EU. V souladu s těmito plány jsou pro cílové roky 2030 a 2050 navrženy dekarbonizační scénáře přechodu na nové bezemisní zdroje energie, jak na celounijní, tak národní úrovni pro Českou republiku. Na základě navržených scénářů je stanovena potřebná kapacita nových bezemisních zdrojů. Součástí práce je také určení současných výrobních a realizačních kapacit a posouzení jejich limitů. Výsledkem porovnání potřebných nových zdrojů se současnou kapacitou je návrh, jak by se tyto výrobní a realizační kapacity musely navýšit, aby teoreticky bylo možné dosáhnout vytyčených dekarbonizačních cílů.

Klíčová slova

Dekarbonizace, bezemisní zdroje energie, produkční kapacity, transformace energetiky, uhlíková neutralita EU

ABSTRACT

The presented master's thesis aims to process a critical study on the feasibility of decarbonization plans in the EU from the perspective of production capacities. Decarbonization, or the reduction of greenhouse gas emissions from the burning of fossil fuels, is the main tool for transitioning to a carbon-free society. The thesis presents the main European decarbonization plans, such as the Green Deal or Fit for 55, and evaluates the EU's previous climate policy. In accordance with these plans, decarbonization scenarios for the transition to new carbon-free energy sources are proposed for the target years 2030 and 2050, both at the EU and national level for the Czech Republic. Based on the proposed scenarios, the required capacity of new carbon-free energy sources is determined. The thesis also includes the determination of current production and implementation capacities and an assessment of their limitations. The result of comparing the required new sources with the current capacity is a proposal on how to increase these production and implementation capacities to theoretically achieve the set decarbonization goals.

Key words

Decarbonization, net-zero EU, energy transformation, emission-free energy sources, production capacities

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VAŘEJKA, Tomáš. *Realizovatelnost plánů dekarbonizace EU z pohledu produkčních kapacit*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/152416>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ing. Jiří Hejčík Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *diplomovou práci* na téma **Realizovatelnost plánů dekarbonizace EU z pohledu produkčních kapacit** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 25.5.2023

.....
Tomáš Vařejka

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D. a Mgr. Ing. Michalu Macenauerovi Ph.D. za vstřícnost při konzultacích a cenné rady a připomínky, které mi poskytli při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Evropské plány dekarbonizace	12
1.1 Zelená dohoda pro Evropu.....	12
1.1.1 Pařížská dohoda.....	12
1.1.2 Klimatický zákon	13
1.1.3 Časová osa.....	14
1.2 Fit for 55	14
1.3 REPowerEU	17
1.3.1 Obnovitelný vodík.....	19
1.3.2 Biometan	20
1.4 Dekarbonizace na národní úrovni	20
1.4.1 Dekarbonizace v ČR.....	21
1.4.2 Energiewende	21
1.5 Klimatický plán 20-20-20.....	22
1.5.1 Emise skleníkových plynů	23
1.5.2 Energetická účinnost	23
1.5.3 Obnovitelné zdroje energie	24
1.6 Současné trendy dekarbonizace	25
1.6.1 Referenční scénář pro rok 2030	26
1.6.2 Shrnutí cílů	26
2 Potřeba nových zdrojů energie	28
2.1 Stav zdrojů energie v roce 2020.....	28
2.2 Scénáře pro energetický přechod.....	31
2.2.1 Model EUCalc.....	31
2.2.2 Vlastní scénář pro dekarbonizaci ČR.....	32
2.3 Změny do roku 2030.....	34
2.3.1 Emise skleníkových plynů	34
2.3.2 Spotřeba energie.....	35
2.3.3 Instalovaná kapacita	38
2.4 Změny do roku 2050.....	40
2.4.1 Emise skleníkových plynů	40
2.4.2 Spotřeba energie.....	41
2.4.3 Instalovaná kapacita	43
2.4.4 Akumulace energie.....	45
2.5 Shrnutí potřeb nových zdrojů energie.....	46
3 Hodnocení stavu výrobních a realizačních kapacit	49
3.1 Výrobní a realizační kapacity na úrovni EU.....	49
3.1.1 Fotovoltaika.....	49

3.1.2	Větrná energie.....	50
3.2	Výrobní a realizační kapacity v ČR	51
3.2.1	Fotovoltaika	51
3.2.2	Větrná energie.....	52
3.2.3	Bioplyn a biometan.....	53
3.2.4	Tepelná čerpadla.....	54
3.3	Shrnutí výrobních a realizačních kapacit	55
4	Navýšení kapacit pro dosažení cílů dekarbonizace.....	57
4.1	Kapacity na úrovni EU	57
4.2	Kapacity v ČR	58
4.3	Možné problémy rychlé transformace.....	60
4.4	Financování energetického přechodu	62
	ZÁVĚR	64
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	66
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	74

ÚVOD

Současná společnost čelí výzvě v boji proti změně klimatu, která je důsledkem nadměrného zvyšování antropogenních emisí skleníkových plynů, především z využívání fosilních paliv. Jelikož je změnou klimatu ohroženo fungování všech krajinných složek, včetně lidské společnosti, je v poslední době stále více zdůrazňován význam snižování emisí a nutná dekarbonizace společnosti. V přechodu na uhlíkově neutrální společnost je Evropská unie jedním z nejambicióznějších hráčů a má za cíl dosažení klimatické neutrality do roku 2050. K tomuto účelu přijala EU řadu klíčových iniciativ a plánů, mezi které patří například Green Deal, nebo Fit for 55. Tyto plány obsahují opatření a nástroje, které mají přispět k dekarbonizaci Evropy a jsou v nich obsaženy cíle, například pro snižování emisí, nebo pro využití obnovitelných zdrojů energie, kterých má být dosaženo pro roky 2030 a 2050. Diplomová práce má v první části za cíl představení dekarbonizačních plánů Evropy a také zmapovat, jejich úspěšnost a jak se v současné době plní. Pro teoretické naplnění této vize pro roky 2030 a 2050 je nutné provést v krátkém čase transformaci energetiky, ale také jiných sektorů, například budov, nebo průmyslu na bezemisní.

Jelikož v současné době je primární spotřeba energie v EU ze tří čtvrtin pokryta fosilními palivy, bude tato transformace potřebovat masivní rozšíření bezemisních technologií v poměrně krátkém čase. To, jakou cestou bude dekarbonizace probíhat nelze s přesností odhadovat, nicméně v diplomové práci je předpokládáno využití současných technologií obnovitelných zdrojů spolu s maximální elektrifikací a využitím obnovitelného vodíku a biometanu, ostatně jak je předpokládáno i v dekarbonizačních plánech EU.

Kolik nových obnovitelných zdrojů energie bude pro splnění vytyčených cílů potřeba a bude možné se současnou výrobní, ale i instalační kapacitou pro tyto bezemisní zdroje energie cíle splnit? Na tyto otázky jsou zaměřeny hlavní cíle této diplomové práce. Prvním z hlavních cílů diplomové práce je identifikace stávající poptávky po energii a odhad její změny do roku 2050. Na základě tohoto hodnocení budou stanoveny kombinace různých zdrojů energie, které jsou schopny pokrýt poptávku a vyhovět klimatické neutralitě. Druhým z cílů je hodnocení současných výrobních a realizačních kapacit pro tyto zdroje energie a odpověď na otázku, zda současné kapacity stačí, či jak moc je nutné je pro splnění vytyčených cílů rozšířit. Oba hlavní cíle jsou řešeny jak pro celou Evropskou unii, tak na národní úrovni pro Českou republiku.

Účelem této diplomové práce je analyzovat a posoudit realizovatelnost nahrazení fosilních paliv bezemisními technologiemi v kontextu snižování emisí skleníkových plynů. Je předpokládáno, že pro kompletní dekarbonizaci EU do roku 2050 jsou současné kapacity nedostačující a budou muset být v krátkém čase navýšeny. Tento přechod nebude levný a bude vyžadovat značné úsilí.

1 Evropské plány dekarbonizace

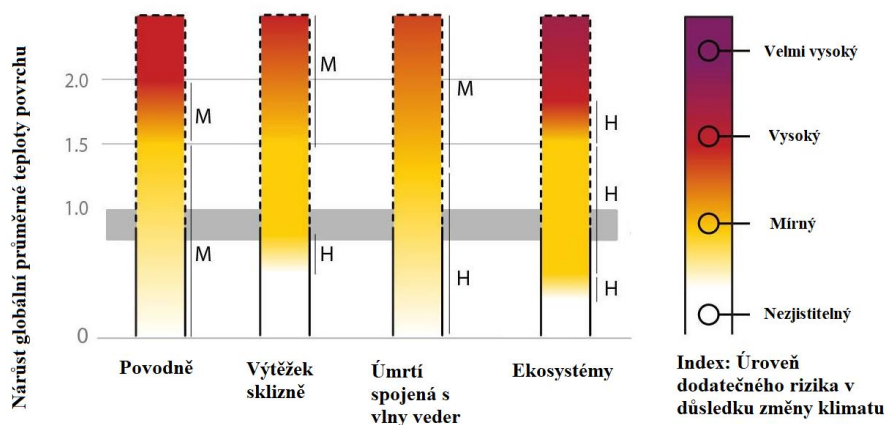
Evropský sektor energetiky podstupuje fázi rychlého přechodu, jenž bude mít dalekosáhlé následky na následující desetiletí. Obavy o životní prostředí, včetně stále ambicióznějších plánů na snížení množství emitovaných skleníkových plynů vytváří tlak na opatření usilující o racionálnější a efektivnější využití energie. Tento tlak na změnu je také dále umocňován obavami o vlastní energetickou bezpečnost, jelikož dnes jsou téměř tři čtvrtiny energetického sektoru EU závislé na většinou dovážených fosilních palivech [1]. Příchod nových, částečně kolísavých, zdrojů energie, ale také inovací jako liberalizace sektoru dodávek energií a tvorba jednotného evropského trhu, je na následující desetiletí významnou výzvou pro všechny členské státy EU.

1.1 Zelená dohoda pro Evropu

Jedná se o právně nezávazný dokument (číslo 52019DC0640), jehož hlavním cílem je dosažení klimatické neutrality na úrovni EU do roku 2050. Dokument prezentuje transformaci hospodářství, představuje ambicióznější klimatické cíle pro roky 2030 a 2050 a také rámcový návrh opatření pro transformaci v daných oblastech. Zde patří energetika, doprava, budovy, průmysl a oběhové hospodářství, zemědělství, obnova ekosystémů a nulové znečištění. Zelená dohoda pro Evropu má pomoci implementovat Pařížskou dohodu a vybudovat udržitelnou a spravedlivou společnost [2]. Cíle Zelené dohody pro Evropu byly podpořeny představiteli jednotlivých členských států což následně umožnilo dané cíle učinit právně závaznými. Právní závazek byl definován v roce 2021 přijatým Evropským klimatickým zákonem [2]. Rozpracování vytyčených cílů více do hloubky, což umožní lepší realizovatelnost v praxi, stanovuje balíček legislativních návrhů Fit for 55. Ten stanovuje konkrétní cíle a opatření pro rok 2030 a jeho finální podoba je k roku 2023 stále v jednání.

1.1.1 Pařížská dohoda

Pařížská dohoda je nejnovější mezinárodní smlouva o boji proti změnám klimatu. Je platná od roku 2016, kdy byla ratifikována více jak 55 státy, které produkují přes 55 % emisí skleníkových plynů. Pařížská dohoda stanovuje tři globální cíle [3, 5]. Prvním z nich je udržet nárůst globální teploty výrazně pod 2 °C vzhledem k předindustriální úrovni a pokračovat ve snaze omezit nárůst teploty nad 1,5 °C. Tyto limity výrazně omezí rizika spojená se změnou klimatu. Pro splnění prvního cíle by měla být koncentrace skleníkových plynů stabilizována na úrovni, která zabrání nebezpečným zásahům do klimatického systému [4]. Na obr. 1.1 je zobrazen nárůst rizik spojených se zvyšováním globální teploty. Šedě je vyznačen současný



Obr. 1.1 Závislost rizik a dopadů spojených s globálním nárůstem teploty, vlastní úprava z [4]

nárůst teploty a písmeny H (vysoká) a M (střední) je označena míra důvěry v přechod mezi jednotlivými úrovněmi rizik, kdy H značí ostřejší a M pozvolnější přechod.

Druhým cílem je zvýšit schopnost přizpůsobit se nepříznivým dopadům změny klimatu a podporovat odolnost produkce potravin i přes tyto dopady. V dohodě stojí, že limitů nárůstu globální teploty by mělo být dosaženo v takovém časovém intervalu, aby se ekosystémy mohly přirozeně přizpůsobit změně klimatu a tím pádem nebude ohrožena produkce potravin a hospodářský rozvoj bude možné provádět udržitelným způsobem [3]. Tento cíl je více závislý na klimatické změně vzhledem ke geografické poloze země, a proto si každá země přijme své adaptační cíle a opatření.

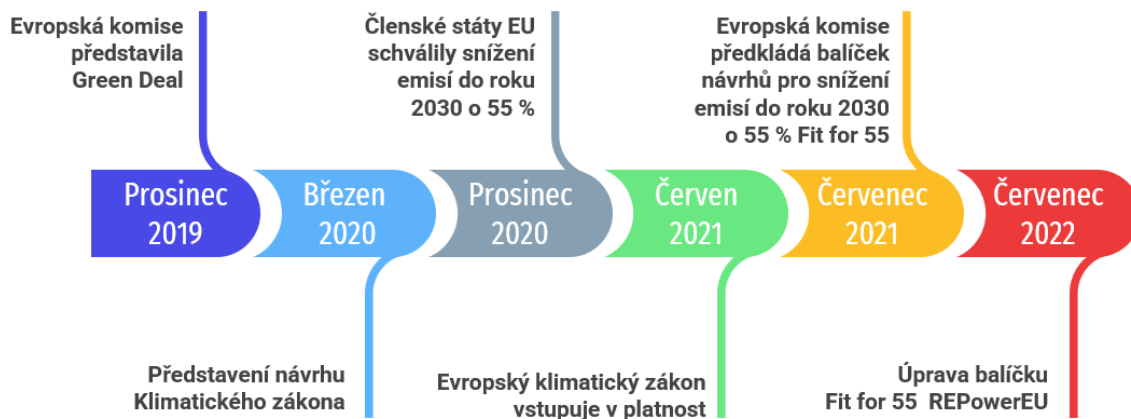
Hlavním účelem třetího cíle je podpora technologií šetrných ke klimatu a opatření omezujících produkci náročnou na emise skleníkových plynů, či poškozujících ekosystémy. Toho má být dosaženo cílenou finanční podporou, nicméně není specifikováno, zda se finanční podpora týká mezinárodní, či domácí úrovně [4].

1.1.2 Klimatický zákon

Evropský klimatický zákon, formálně odsouhlasen jako nařízení 2021/1119 v červenci 2021, stanovuje právně závazný cíl neutrálních emisí skleníkových plynů do roku 2050 [6]. Instituce EU a jednotlivé členské státy jsou povinny přijmout nezbytná opatření na vnitrostátní i celounijní úrovni, aby tento cíl splnily. Součástí splnění cíle o neutrálních emisích je důležitost podpory spravedlivosti a solidarity mezi členskými státy. Klimatický zákon obsahuje opatření ke sledování pokroku a odpovídajícím způsobem přizpůsobuje kroky úpravy národních energetických a klimatických plánů na základě dosaženého pokroku. Pokrok bude kontrolován každých pět let v souladu s celosvětovou inventarizací podle Pařížské dohody [5, 6].

Klimatický zákon také předkládá nezbytné kroky pro dosažení cíle do roku 2050. Na základě důkladného hodnocení dopadů byl stanoven nový cíl snížení emisí do roku 2030. Tento cíl je mezikrokem směrem k dosažení klimatické neutrality a znamená, že emise musí být sníženy minimálně o 55 % ve srovnání s rokem 1990 [6]. Dále je také potřeba zvýšit pohlcování uhlíku prostřednictvím ambicióznější strategie v sektoru využití půdy, změny využití půdy a lesnictví (LULUCF), zřízení Evropského vědeckého poradního výboru, který bude poskytovat nezávislé vědecké poradenství, nebo závazek zapojit se do spolupráce s odvětvími na přípravě plánů mapujících cestu ke klimatické neutralitě v různých oblastech hospodářství [6]. Jak dosáhnout mezikroku redukce emisí o 55 % popisuje balíček legislativních návrhů s názvem Fit for 55, který bude podrobněji popsán v dalších kapitolách.

1.1.3 Časová osa



Obr. 1.2 Časová osa nejdůležitějších kroků Zelené dohody pro Evropu, vlastní tvorba z [7]

Časová osa klíčových událostí spojených se Zelenou dohodou pro Evropu je zobrazena na obr. 1.2. I před představením Zelené dohody pro Evropu existovaly iniciativy v oblasti klimatu. Těmito iniciativami byly například systém pro obchodování s emisními povolenkami (ETS), který byl zaveden v roce 2005. Jedná se vlastně o obchodování s emisemi uhlíku, které má pomoci jednotlivým členským státům EU s omezením emisí skleníkových plynů tím, že učiní využívání na emise náročných technologií méně výhodné [7]. Dále existovala od roku 2009 první směrnice o obnovitelné energii (RED), která určovala cíl podílu energie z obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie a od roku 2012 směrnice o energetické účinnosti (EED). Tato směrnice měla za cíl zlepšení energetické účinnosti budov, výrobků a průmyslu v EU [7, 8]. Tyto základní iniciativy, později dále inovovány a upravovány, se staly základem pro představenou Zelenou dohodu pro Evropu. Se zřízením nové Evropské komise pod předsednictvím Ursuly von der Leyenové je Zelená dohoda pro Evropu na prvním místě agendy. Současně byly nad rámec Pařížské dohody upraveny cíle pro rok 2030, aby se lépe shodovaly s trajektorií ke klimatické neutralitě v roce 2050. Legislativní balíček opatření k dosažení cíle pro rok 2030 přijatý v roce 2021 je nazývaný Fit for 55 a jeho podoba je stále na začátku roku 2023 v jednání. Zatím poslední úpravou Fit for 55 je balíček REPowerEU z července roku 2022.

1.2 Fit for 55

Jedná se o balíček legislativních návrhů, který má vést k 55% snížení evropských emisí skleníkových plynů do roku 2030 vzhledem ke stanovenému základu roku 1990 [9]. Tento cíl je mezikrokem k dosažení uhlíkové neutrality v roce 2050, ke které se EU právně zavázala [6]. Pro uvedení do kontextu v roce 1990 bylo v EU do ovzduší vypuštěno 4633 MtCO₂eq skleníkových plynů [10]. Redukce o 55 % do roku 2030 znamená vypustit pouze 2085 MtCO₂eq. Vzhledem k tomu, že změna klimatu se dotýká každého aspektu společnosti, tak se tento soubor legislativních návrhů zaměřuje na všechny oblasti od energetiky a dopravy po využívání půdy a daně. Níže jsou popsány jednotlivé sekce, kterých se návrhy spadající pod Fit for 55 týkají.

System EU pro obchodování s emisemi (ETS)

Evropská komise navrhuje komplexní změny současného systému EU ETS, které by měly vést k celkovému snížení emisí v odvětvích, která ETS zahrnuje do roku 2030 o 61 % ve srovnání s rokem 2005 [9]. Mezi tyto změny patří zahrnutí emisí z námořní dopravy do systému ETS a postupně ukončit přidělování bezplatných povolenek odvětvím na které se bude vztahovat mechanismus uhlíkového vyrovnání na hranicích, to je například letectví. Dále vznikne samostatný systém pro obchodování s emisemi pro odvětví budov a silniční dopravy [9]. Osobní automobily a dodávky jsou zodpovědné za přibližně 15 % celounijních emisí CO₂ [11]. Navrhovaným nařízením je stanoven nový cíl nulových emisí pro nové osobní automobily a dodávky do roku 2035.

Mechanismus uhlíkového vyrovnání na hranicích (CBAM)

Cílem tohoto mechanismu je zabránit, aby úsilí EU o snížení emisí nebylo negativně kompenzováno zvýšením emisí mimo její hranice v důsledku přesunu výroby. Mechanismus CBAM bude fungovat souběžně se systémem ETS, aby doplňoval jeho fungování pro dovážené zboží a postupně nahradí současné přidělování bezplatných povolenek v rámci ETS [9]. Nejdříve bude tento systém pokrývat sektory s vysokými emisemi, jako jsou výroba oceli, cementu a hnojiv a později se rozšíří i na další odvětví.

Nařízení o sdílení úsilí (ESR)

Nařízení o sdílení úsilí v současné době obsahuje stanovené závazné roční cíle pro jednotlivé členské státy EU týkající se emisí skleníkových plynů v odvětvích, na něž se nevztahuje systém ETS ani nařízení o využívání půdy a lesnictví. Mezi tyto odvětví patří silniční doprava, zemědělství, budovy, v menší míře průmysl a odpadové hospodářství. Celkem tyto odvětví tvoří 60 % celkových emisí CO₂ v EU [12]. Změna tohoto nařízení se týká cílů, kterých má být v uvedených odvětvích do roku 2030 dosaženo, a to snížení emisí skleníkových plynů z 29 % na 40 % ve srovnání s rokem 2005 [12]. Výpočet pro stanovení vnitrostátních cílů je nadále založen na hrubém domácím produktu na obyvatele.

Využívání půdy, změny ve využívání půdy a lesnictví (LULUCF)

Je nezbytné v tomto odvětví zvrátit současný klesající trend pohlcování uhlíku a do budoucna v celé EU množství ročně pohlceného uhlíku navýšit. Mezi členské státy bude rozdělen závazný cíl pro pohlcení skleníkových plynů ve výši nejméně 310 MtCO₂eq do roku 2030 [12]. Lesy a půda ročně pohltnou přibližně 10 % emisí vypuštěných v EU. V roce 2019 to bylo 249 MtCO₂eq [9].

Emisní normy pro osobní automobily a dodávky

Cíl redukce emisí CO₂ o 100 % do roku 2035 v praxi znamená, že v EU nebude možné uvádět nové automobily se spalovacím motorem na fosilní paliva [13]. Výjimku budou tvořit uhlíkově neutrální syntetická paliva. Toto nařízení má za úkol podnítit technologické inovace v odvětví dopravy. Součástí je i emisní norma EURO 7, která bude platit od roku 2025. Tato nová emisní norma sjednotí limitní hodnoty pro osobní automobily bez ohledu na palivo a bude regulovat například i emise pevných částic z otěru brzd a pneumatik [13]. Silniční doprava se ve městech řadí mezi největší znečišťovatele a podílí se až na 39 % vypuštěných NO_x a 10 % PM_{2,5} a PM₁₀ emisí [14].

Udržitelná letecká a námořní paliva a infrastruktura pro alternativní paliva

Iniciativa ReFuelEU Aviation pro leteckou dopravu a FuelEU Maritime pro námořní dopravu má za cíl snížit environmentální stopu tohoto druhu dopravy a zajistit, aby byly ve větší míře využívány udržitelná paliva. Minimální podíl udržitelných syntetických paliv na letištích v EU má být v roce 2050 63 % [9]. Námořní doprava bude muset své emise redukovat o 75 %, což také znamená využívání syntetických paliv.

Odhaduje se, že v roce 2050 bude více než 13,4 milionu vozidel v EU na alternativní paliva, zde nejsou započítány elektromobily [9]. Dále cílem nařízení o infrastruktuře je, že na hlavních silnicích bude dobíjecí stanice každých 60 km, vodíková stanice každých 200 km a dále také stanice na zkapalněný methan umožňující provoz nákladních vozidel [9].

Sociální fond pro klimatická opatření

Vyšší ceny fosilních paliv v důsledku zavedení nového systému pro obchodování s emisemi budou mít dopad na osoby s nízkým příjmem i na menší podniky. V současné době trpí energetickou chudobou v EU až 34 miliónů lidí a toto číslo bude jen růst [9]. Sociální fond financovaný z prodeje emisních povolenek bude poskytovat podporu nejvíce zranitelným skupinám.

Směrnice o obnovitelných zdrojích energie (RED)

Revizí směrnice o obnovitelných zdrojích energie byl zvýšen cíl podílu energie z obnovitelných zdrojů nejdříve na minimálně 40 % a později na 45 % [15]. To znamená, že v roce 2030 bude 3936 TWh z konečné spotřeby EU zajištěno obnovitelnými zdroji. Pro porovnání v roce 2020 tato hodnota činila 2266 TWh [16]. Pokrok v začleňování obnovitelných zdrojů byl nejrychlejší v odvětví výroby elektrické energie, naopak v dopravě a průmyslu bude muset výrazně zrychlit.

Směrnice o energetické účinnosti (EED)

Úpravou směrnice o energetické účinnosti vzrostl unijní cíl pro energetickou účinnost na 36 % pro konečnou spotřebu energie a 39 % pro spotřebu primární energie v porovnání s referenčním scénářem pro rok 2030 [15]. Nové cíle byly v původním návrhu Fit for 55 stanoveny na 1023 Mtoe pro spotřebu primární energie a 787 Mtoe pro konečnou spotřebu energie. Tyto cíle byly dále upraveny balíčkem REPowerEU [15]. Pro uvedení do kontextu, v roce 2020 byla spotřeba primární energie 1236 Mtoe a konečná spotřeba energie 907 Mtoe [23]. Díky lepší účinnosti by potom mělo být vypuštěno i menší množství skleníkových plynů.

Energetická náročnost budov

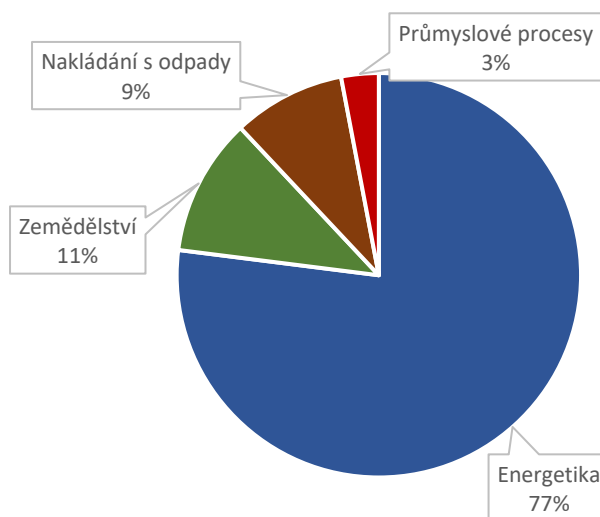
Na budovy připadá 40 % spotřebované energie a 36 % emisí skleníkových plynů [17]. Cílem bude, aby všechny nové budovy do roku 2030 byly budovami s nulovými emisemi. Do roku 2050 budou i všechny stávající budovy transformovány na budovy s nulovými emisemi [9]. Tyto budovy spotřebovávají jen velmi malé množství energie, která je z velké části pokryta obnovitelnými zdroji na místě. Rozsah spotřeby energie pro tento typ budov je definován geografickou polohou. Pro střední Evropu je mezi 40-50 kWh/m² za rok [18].

Směrnice o zdanění energie (ETD)

Revize směrnice o zdanění energie má pomoci v přechodu na čistší energii a ekologičtější průmysl. Zdanění různých energetických produktů má odrážet jejich dopad na životní prostředí [9].

Vypuštěné emise v EU jsou přepočítávány na ekvivalent oxidu uhličitého CO₂eq [19, 20]. Graf na obr. 1.3 níže znázorňuje rozložení emisí skleníkových plynů ve všech odvětvích kromě využívání půdy a lesnictví (LULUCF), součástí energetiky je i sektor dopravy [19]. Zatímco energetika, doprava a další oblasti, ve kterých je zásadní spalování, produkují přímo emise CO₂, v zemědělství a odpadovém hospodářství jde především o emise CH₄ a N₂O [20].

Ekvivalent oxidu uhličitého je využíván pro hodnocení vypuštěných emisí, veškeré cíle a limity emisí jsou vztaženy právě k tomuto ekvivalentu. Výpočet se provádí prostřednictvím tzv. potenciálu globálního oteplení (GWP). Potenciál globálního oteplení slouží k definici míry příspěvku konkrétního plynu ke skleníkovému jevu. Jako jednotka přepočtu při výpočtu příspěvku se používá jedna molekula CO₂. Díky tomu lze stanovit právě CO₂eq. Jedná se o množství CO₂, které ke skleníkovému jevu atmosféry má stejný ekvivalentní příspěvek jako dané množství plynu. Obvykle vztaženo k časovému horizontu 100 let [21]. Výpočet se provádí vynásobením hmotnosti daného skleníkového plynu jeho potenciálem globálního oteplení. Potenciál globálního oteplení je určen mnoha faktory, kterými jsou například radiační účinnost dané látky a časově závislý rozklad v atmosféře [22]. Většinou platí, že víceprvkové časově stabilní látky mají vyšší GWP než jednosložkové plyny. Pro uvedení příkladu GWP methanu je 25, oxidu dusného 298 a chladiva HFC-134a 1526 [22].



Obr. 1.3 Emise skleníkových plynů v EU podle odvětví, vlastní úprava z [23]

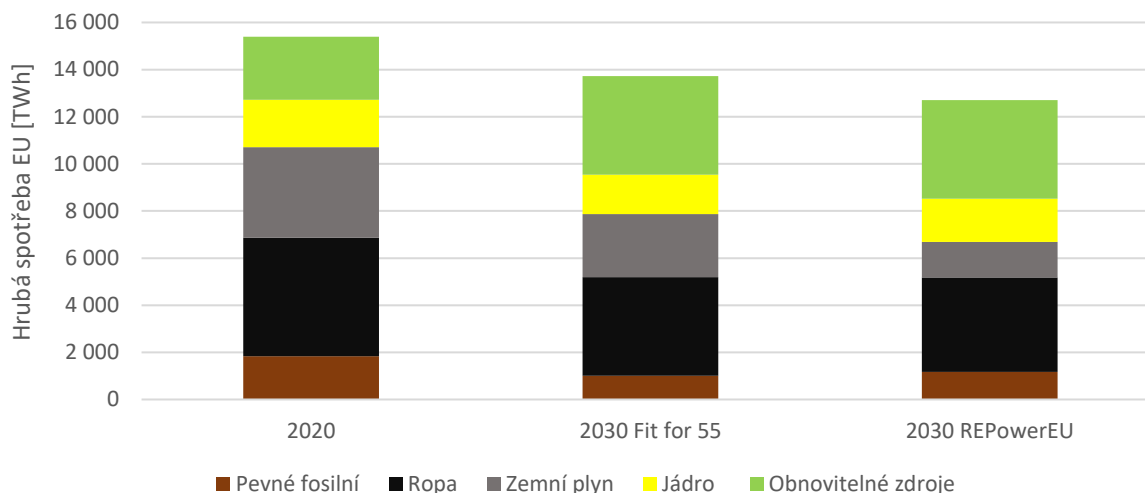
1.3 REPowerEU

Prozatím poslední provedená změna balíčku Fit for 55 je v programu REPowerEU, který vznikl jako odezva na narušení globálního trhu s energií způsobené ruskou agresí na Ukrajině a byl přijat v červenci 2022 [15]. Snížení závislosti na ruských fosilních palivech a dosažení cílů uvedených v REPowerEU bude vyžadovat rychlejší odklon od fosilních paliv, ale také diverzifikaci dodávek zemního plynu. Obojí je podpořeno zvýšením energetické účinnosti i podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě energie nad rámec původních cílů uvedených při vzniku balíčku Fit for 55. Úpravy a zpřísnění v balíčku Fit for 55 počítají s podstatným zvýšením produkce obnovitelného vodíku a biometanu, ale také s prodloužením využívání uhlí i jaderných zdrojů. To vše na úkor zemního plynu, který má být maximálně nahrazován elektrifikací, vodíkem, nebo biometanem [15]. Hlavní změny oproti scénáři pro rok 2030 v balíčku Fit for 55 jsou shrnuty v následující tabulce 1.

Tabulka 1 Porovnání rozdílů v původním scénáři pro rok 2030 Fit for 55 a REPowerEU
[15, 9]

Rozdíly ve scénářích Fit for 55 a REPowerEU	Fit for 55	REPowerEU
Podíl energie z obnovitelných zdrojů na spotřebě energie	40 %	45 %
Snížení konečné spotřeby energie	9 %/787 Mtoe	13 %/750 Mtoe
Snížení primární spotřeby energie	9 %/1 023 Mtoe	13 %/980 Mtoe
Produkce biometanu	18 bcm	35 bcm

Pro uvedení hodnot v tabulce do souvislosti, v roce 2020 byl podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie v EU 22,1 %, primární spotřeba energie 1236 Mtoe, konečná spotřeba energie 886 Mtoe a produkce biometanu dosahovala 3 bcm [23]. Vyšší ceny energií spolu s výše popsanými změnami v balíčku Fit for 55 změni dráhu po které se ubírá energetická transformace v EU. Na úkor zemního plynu, u kterého se počítá s výrazným poklesem v podílu vyrobené elektrické energie, bude, alespoň dočasně, růst využití uhelných elektráren. Hrubá výroba elektrické energie z plynu má být nižší o 240 TWh, a naopak u uhelných a jaderných o 105 TWh, respektive 45 TWh vyšší než u původních návrhů ve Fit for 55 [15]. Spotřeba zemního plynu v průmyslu je o 35 % nižší ve srovnání s návrhem Fit for 55 a to 57 bcm. Hrubá domácí spotřeba EU má klesnout z přibližně 15 400 TWh v roce 2020 na 12 700 TWh v roce 2030 podle scénáře REPowerEU [15]. Porovnání hrubé domácí spotřeby mezi plány REPowerEU a původním Fit for 55 je zobrazeno na obr. 1.4.



Obr. 1.5 Hrubá domácí spotřeba v EU v roce 2020 a v roce 2030 pro scénář Fit for 55 a REPowerEU, vlastní úprava z [9, 15]

Jako výsledek nutných úspor na importovaných fosilních palivech bude narůstat podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie v porovnání se scénářem uvedeným ve Fit for 55 ze 40 % na 45 % [15]. Cíl podílu obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie v roce 2030 byl v průběhu let postupně měněn a zvyšován, jako je znázorněno na obr. 1.4.



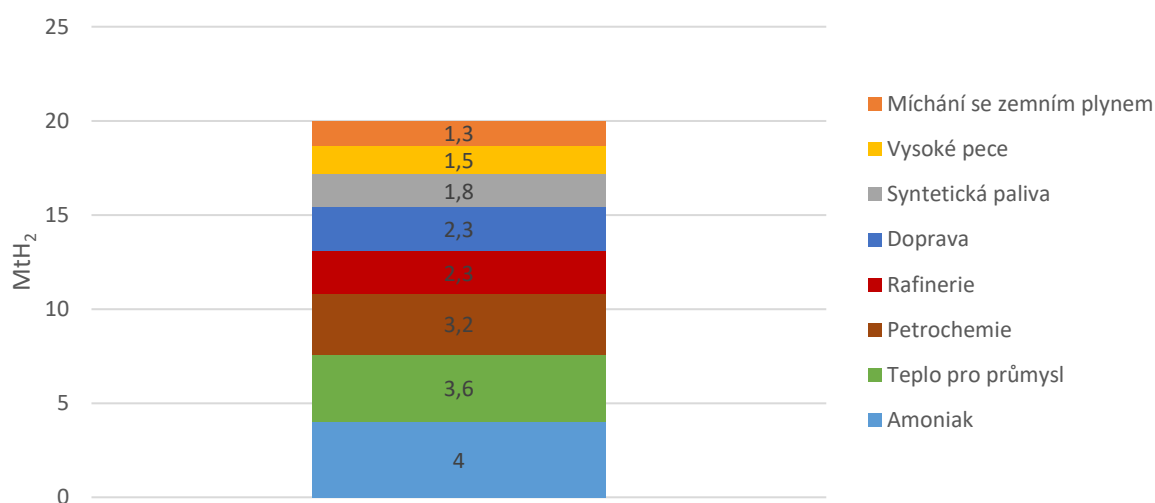
Obr. 1.4 Vývoj cílů podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě energie v roce 2030, vlastní tvorba z [25]

Úspory spotřeby primární i konečné energie budou poháněny faktory jako jsou vyšší ceny energií, cílené opatření v rámci REPowerEU i informovanost spotřebitelů a lepší energetickou účinností využívaných zařízení. Plánovaná úspora na konečné spotřebě energie bude v roce 2030 ještě vyšší, než v návrhu Fit for 55 a to 9 % oproti referenčnímu scénáři. Úspora na primární spotřebě energie bude oproti referenčnímu scénáři činit 13 % [15, 24].

1.3.1 Obnovitelný vodík

Podle plánu REPowerEU je nutné do roku 2030 zvýšit výrobu a dovoz obnovitelného vodíku na 20 Mt ročně. Z těchto 20 Mt je v plánu 10 Mt obnovitelného vodíku vyrobit v EU a zbytek dovézt, a to například v podobě amoniaku, nebo jiných alternativních nosičů [15]. Vodík by měl hrát rozhodující roli hlavně v sektorech, ve kterých není snadná elektrifikace, což jsou hlavně průmysl a doprava. V průmyslu se jedná hlavně o náhradu koksu pro výrobu oceli, v dopravě provoz těžkých nákladních vozidel a výroba syntetických paliv pro leteckou a námořní dopravu [15, 25]. Pro rozvoj využití vodíku je v plánu rozvíjet koncept tzv. vodíkových údolí, která jsou vhodným základem pro podněcení zvyšování nabídky a poptávky po vodíku. Vodíkovým údolím je průmyslová oblast, ve které je sdílený celý vodíkový řetězec od výroby přes uskladnění až po spotřebu jako jeden integrovaný ekosystém. Toto využití je flexibilní a může se přesně adaptovat na lokální potřeby energie [25]. Zřízení vodíkových údolí může být zvláště výhodné v současných uhelných regionech. V celé EU je v současné době celkem 23 vodíkových údolí mezi deseti státy. V České republice je takovýto projekt vodíkového údolí plánovaný v Ústeckém a Moravskoslezském kraji [26].

Kromě využití v dopravě a průmyslu je v plánu obnovitelný vodík také přimíchávat do zemního plynu. Přimíchávání vodíku do zemního plynu ale vyžaduje pečlivé zvážení, jelikož takto upravený zemní plyn má jiné vlastnosti a může znamenat zvýšení nákladů pro koncové uživatele. Navíc ve většině aplikací je výhodnější přímá elektrifikace, oproti využití zemního plynu. I přes to je v plánu míchat vodík do zemního plynu na 3 objemová procenta [15]. Plánované využití těchto 20 Mt obnovitelného vodíku je znázorněno na následujícím obr. 1.6. Typický 1 GW elektrolyzátor fungující 8 000 h ročně s účinností 75 % dokáže vyrobit přibližně 0,15 Mt obnovitelného vodíku. Plánovaná instalovaná kapacita elektrolyzátorů pro výrobu obnovitelného vodíku v EU je 65 GW [15].



Obr. 1.6 Využití vodíku podle sektoru v roce 2030, vlastní úprava z [15]

1.3.2 Biometan

Evropská komise v programu REPowerEU oznámila pro rok 2030 cíl produkce 35 bcm biometanu. Toto množství je přibližně rovno 20 % plynu, který byl v roce 2021 importován z Ruska [27]. Navyšování domácí produkce biometanu má kromě toho, že je udržitelný a levnější, ještě jednu nespornou výhodu. Při anaerobní produkci bioplynu, který je potom na biometan upraven, totiž vzniká i digestát, a ten lze využít jako náhrada za syntetická hnojiva [28]. Syntetická hnojiva se rovněž vyrábí ze zemního plynu, a tím pádem je úspora zemního plynu ještě větší. Samotného cíle 35 bcm biometanu ročně na celounijní úrovni lze dosáhnout využíváním pouze odpadů jako suroviny pro výrobu bioplynu [27]. Lze také předpokládat využití udržitelných plodin produkovaných bez konkurování produkci potravin. K roku 2020 EU produkuje 3 bcm biometanu a 17 bcm bioplynu. Rozšíření výroby na 35 bcm bude požadovat dalších přibližně 5000 nových bioplynových stanic [27].

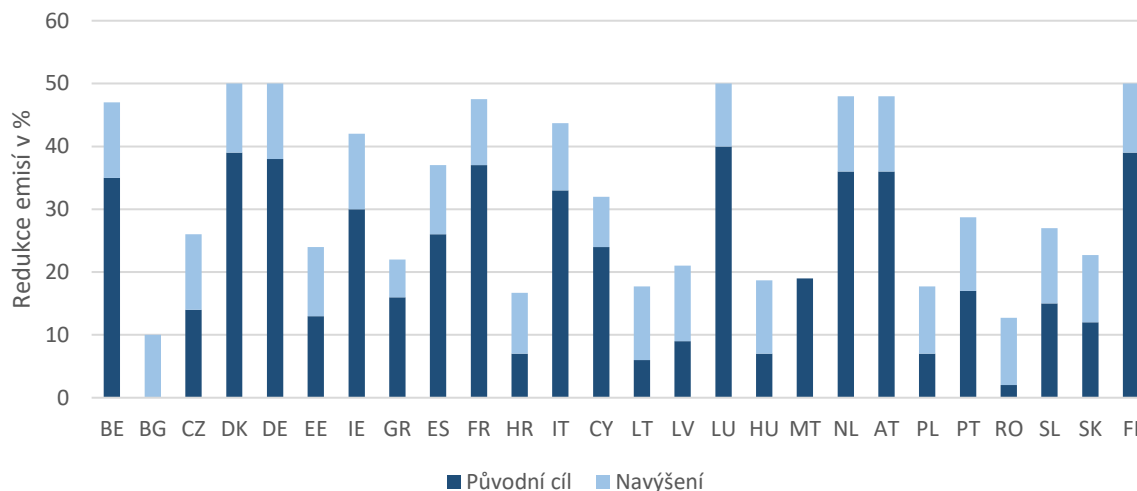
1.4 Dekarbonizace na národní úrovni

V souladu s Nařízením o sdílení úsilí (ESR), které požaduje redukcí emisí o 40 % v sektorech, které pod něj spadají, jsou pro jednotlivé členské státy EU vytyčeny příspěvky v rozmezí od 10 do 50 % [15, 29]. Národní cíle jsou založeny na relativním bohatství členských států, podle hrubého domácího produktu na obyvatele. Méně bohaté země mají tedy méně ambiciózní cíle, protože jejich předpokládaný vyšší růst bude poháněn vyššími emisemi a zároveň mají nižší investiční kapacity [29]. Členské státy mají povinnost vypracovat své plány v oblasti klimatu a energetiky a skrze tyto plány informovat Evropskou komisi o vnitrostátním příspěvku ke schváleným evropským cílům v oblasti skleníkových plynů, obnovitelných zdrojů energie, energetické účinnosti a interkonektivity přenosové soustavy [30, 31]. Těmito vnitrostátními plány jsou:

- Národní energetické a klimatické plány (NECP)
- Dlouhodobé strategické plány (LTS)

Tyto plány od každé členské země Evropské unie jsou prověřovány a přezkoumávány Evropskou komisí a dále tvoří rámec pro budoucnost investic. Jsou také základem pro členské státy při plánování svých strategií udržitelnosti [31]. Ambice pro snižování emisí, udržitelnost, nebo efektivnější využití energie atd. měly členské státy EU již dříve. Zelená dohoda tvoří celkový cíl, na kterém se budou určitou mírou podílet všechny členské státy [15, 31]. Pro jednotlivé státy jsou stanoveny evropskými předpisy závazné cíle a roční přiděly povolenek, které mohou maximálně využít. Jednotkou v tomto systému je *Annual Emission Allocation* (AEA), která odpovídá jedné tuně vypuštěného CO₂. Systém je flexibilní a státy si samy určují jakými prostředky cílů dosáhnout. Zároveň lze jednotky AEA uložit do budoucna, nebo si je naopak vypůjčit z příštích let [32]. Redukce emisí spadajících pod Nařízení o sdílení úsilí od jednotlivých členských států je zobrazena na následujícím grafu na obr. 1.7.

1.4.1 Dekarbonizace v ČR



Obr. 1.7 Navýšení cílů redukce emisí spadajících pod nařízení o sdílení úsilí vzhledem k roku 2005 pro členské země EU, vlastní úprava z [29]

Pro Českou republiku stanovuje nová úprava Nařízení o sdílení úsilí (ESR) závazný cíl snížení emisí o 26 % oproti roku 2005 a závaznou lineární trajektorii jeho dosažení začínající na průměrné hodnotě emisí skleníkových plynů za roku 2016, 2017 a 2018 a končící v roce 2030 [29]. U České republiky se doposud vyžadovalo snížení emisí ve zmíněných sektorech o 15 % vzhledem k roku 2005, ale nový návrh zvyšuje český cíl na 26 % [29]. Dlouhodobý cíl Politiky ochrany klimatu v ČR z roku 2019 stanovuje snížit emise v České republice o 44 MtCO₂eq v roce 2030 vzhledem k roku 2005 a dále směřovat k indikativní úrovni 39 MtCO₂eq vypuštěných emisí v roce 2050 [32]. Toto odpovídá snížení o 80 % oproti roku 1990. Nicméně Česká republika podpořila Zelenou dohodu a zavázala se k plnění jejích cílů, což znamená stát se do roku 2050 klimaticky neutrální zemí a pro ČR je platná i 55% redukce emisí do roku 2030.

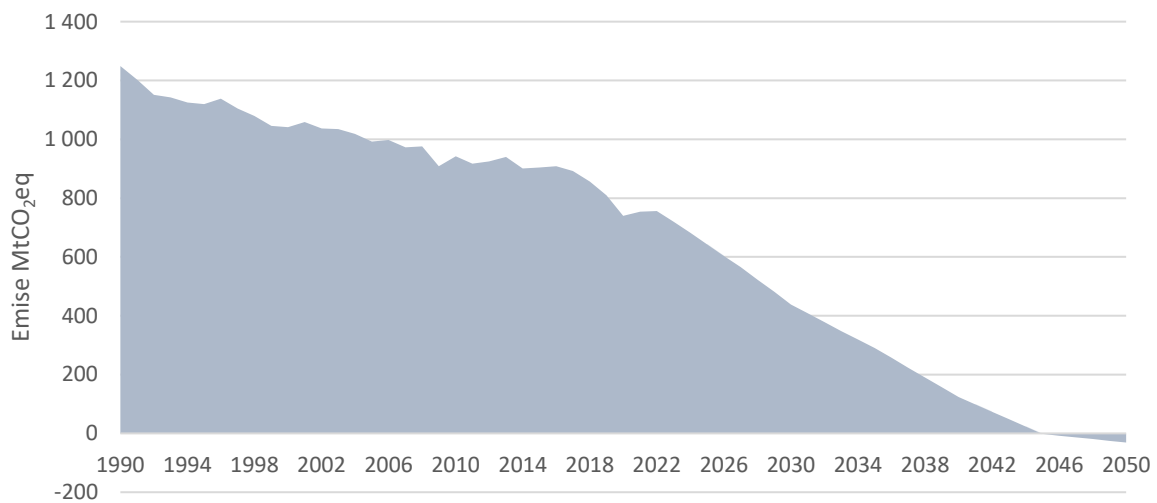
1.4.2 Energiewende

Energiewende je označení pro kompletní energetickou přeměnu v Německu, která má zajistit ekologicky šetrnou, cenově dostupnou energii s minimem emisí skleníkových plynů [33]. Co se týká závazku o dosažení uhlíkové neutrality, tak je nastaven přísněji v porovnání se závazky na úrovni EU, vycházejícími ze Zelené dohody. Podle zákona o změně klimatu Německá spolková vláda plánuje dosáhnout uhlíkové neutrality již v roce 2045 [34]. Průběžné cíle redukce emisí jsou určeny pro roky 2030 a to 65 % redukce emisí a pro rok 2040, kdy má být dosaženo 88 % redukce emisí vzhledem k roku 1990 [34]. Dále od roku 2050 si německá vláda klade za cíl mít zápornou emisní bilanci, což znamená, že v přírodě musí být pohlceno více uhlíku, než bude vypuštěno do ovzduší [34]. Dalším hlavním cílem byl odklon od nukleární energie, a to do konce roku 2022. Nicméně tento plán byl odložen a zbylé jaderné reaktory byly odstaveny v dubnu 2023 [35]. Co se týká vedlejších cílů energetické transformace v Německu do roku 2050, tak jimi jsou redukce primární spotřeby energie na polovinu spotřeby v roce 2008 a zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na primární spotřebě na 60 % a na výrobě elektrické energie na 80 % [34, 35]. Dalším cílem je růst energetické produktivity 2,1 % ročně. To znamená spojitost konečné spotřeby energie s hrubým domácím produktem. Cílem je oddělit ekonomický růst od spotřeby energie [35].

Tabulka 2 Shrnutí cílů Energiewende [34, 35]

Cíle Energiewende	2030	2050
Celkové emise skleníkových plynů	438 MtCO ₂ eq	-31 MtCO ₂ eq
Podíl OZE na hrubé výrobě elektrické energie	65 %	80 %
Podíl OZE na konečné spotřebě energie	30 %	60 %
Redukce primární spotřeby energie vzhledem k 2008	30 %	50 %
Nárůst energetické produktivity	2,1 % ročně	

V tabulce 2 výše jsou shrnuty cíle německého energetického přechodu pro roky 2030 a 2050. Na obr. 1.8 je zobrazen vývoj emisí CO₂eq v Německu od roku 1990 do roku 2050. Lze pozorovat, že emise mají za celou sledovanou dobu od devadesátých let po rok 2022 klesající trend, nicméně v projekci dál do roku 2050 tento trend poklesu bude muset být výraznější.



Obr. 1.8 Vývoj emisí skleníkových plynů v Německu do roku 2050, vlastní úprava z [10, 34]

V Německu emise klesly v roce 2020 v porovnání s rokem 1990 o 40,8 %, a to nejen díky pandemii koronaviru, ale jelikož jsou emise kontinuálně v poklesu od roku 2017, tak i díky strukturálním změnám v německé energetice [35]. V roce 2020 Německo vypustilo do ovzduší 739 MtCO₂eq, přibližně o 17 % méně než v roce 2017 [10]. Největší podíl na takto výrazné redukci má výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů, která dosahovala v roce 2020 45 %, zatímco výroba elektrické energie z uhlí klesla mezi lety 2015 a 2020 na polovinu [23].

Plány Německa v oblasti obnovitelných zdrojů byly v roce 2022 upraveny a obsahují nové cíle instalované kapacity pro rok 2030 a 2045, kdy je v plánu dosažení klimatické neutrality [92]. Pro rok 2030 je v plánu zvýšit instalovanou kapacitu solárních elektráren z hodnoty 63 GW v roce 2022 na 215 GW. Pro větrné elektrárny je nový cíl nastaven na 145 GW, což je o 80 GW více než v roce 2022 [92].

1.5 Klimatický plán 20-20-20

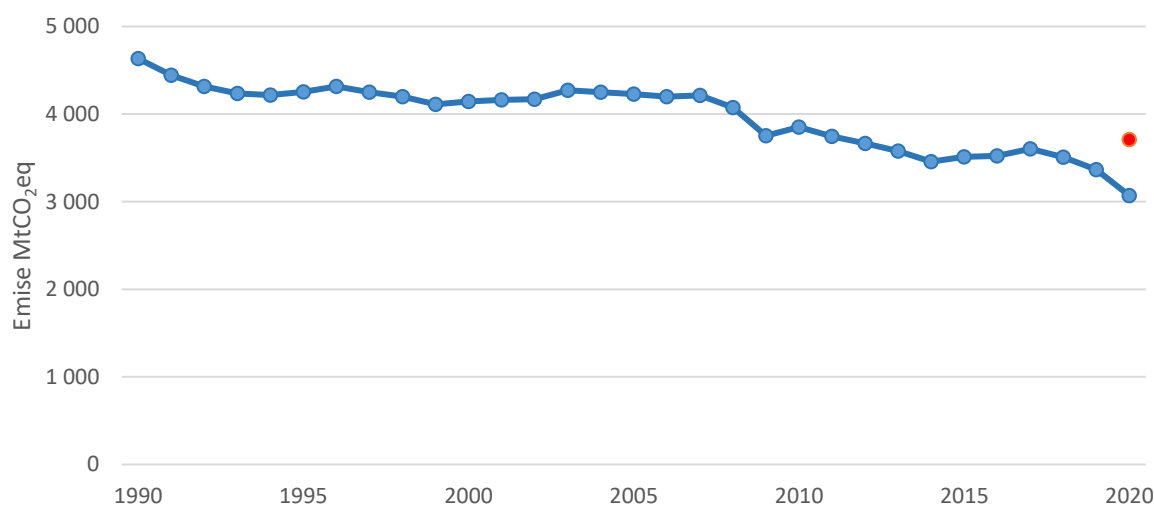
Rozhodnutí o tomto plánu pochází z roku 2007 a jednalo se o soubor tří cílů označovaných jako 20-20-20 do roku 2020. Tyto cíle byly vytyčeny pro rok 2020 a zahrnovaly následující [36].

- Redukce emitovaných skleníkových plynů o 20 % v porovnání s rokem 1990.
- Podíl OZE na konečné spotřebě alespoň 20 %
- 20 % úspora na předpokládané konečné spotřebě energie v EU

Pro realizaci těchto cílů byl předveden klimatický a energetický balíček, který zahrnoval například směrnice o obchodování s emisemi, nebo propagaci obnovitelných zdrojů a zachycování a využívání uhlíku. Úspěch v dosavadní snaze v oblasti klimatu je pozorovatelný. Zatímco se dařilo udržovat klesající trend skleníkových plynů, ekonomika EU v období 1990 až 2020 vzrostla o přibližně 60 % [36].

1.5.1 Emise skleníkových plynů

Co se týká emisí skleníkových plynů, tak cíl redukce o 20 % byl splněn [36]. Celkový pokles emisí oproti roku 1990 činil 34 % [10]. Cíl byl splněn s poměrně velkou rezervou, což je do značné míry způsobeno značným poklesem emisí v souvislosti s pandemií COVID-19, nicméně cíl byl splněn již v roce 2018 [10]. Historický vývoj emisí spolu s vyznačeným cílem pro rok 2020 je zobrazen na obr. 1.9.



Obr. 1.9 Emise skleníkových plynů v EU v průběhu let 1990 až 2020, vlastní úprava z [10, 36]

Tento pokles je ekvivalentní roční redukci vypuštěných emisí o 52 MtCO₂eq. Za strmý pokles zaznamenaný v poslední době (jen mezi lety 2018 a 2019 o 4 %) je zodpovědné hlavně nahrazování uhlí zemním plynem a obnovitelnými zdroji pro výrobu elektrické energie [36]. V tabulce 3 je zobrazeno srovnání dosažené hodnoty redukce emisí s cílovou hodnotou.

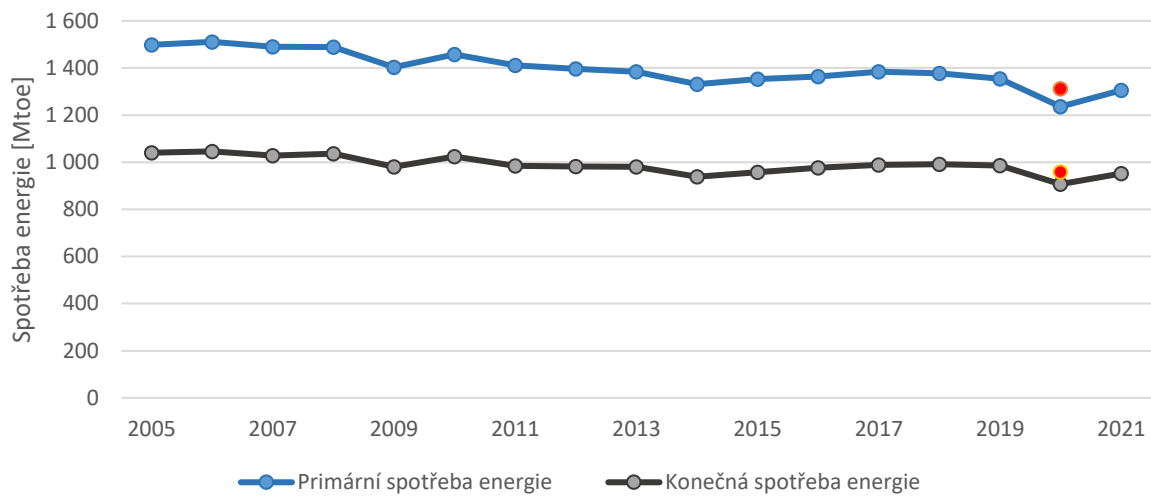
Tabulka 3 Srovnání cíle redukce emisí skleníkových plynů vzhledem k dosažené hodnotě [10, 36]

Emise skleníkových plynů	Vzhledem k roku 1990	MtCO ₂ eq
Cíl	-20 %	3706
Skutečně dosažená hodnota	-34 %	3069

1.5.2 Energetická účinnost

Na rozdíl od cílů pro redukci emisí skleníkových plynů, které jsou vztaženy relativně k roku 1990, tak cíle pro energetickou účinnost jsou založeny na projektované spotřebě dle referenčního scénáře [38]. V roce 2019 dosažené úspory primární spotřeby energie byly stále o 3,2 % větší, než by bylo potřeba pro splnění plánu pro rok 2020 [23]. V případě konečné spotřeby energie se jednalo o 2,9 % rozdíl. Nicméně cíle pro rok 2020 bylo dosaženo a hodnoty primární a konečné spotřeby energie byly rovny 1 236, respektive 907 Mtoe [36]. Vývoj

primární a konečné spotřeby energie v průběhu let 2005 až 2021 spolu s vyznačenými cíli pro rok 2020 je zobrazen na obr. 1.10.



Obr. 1.10 Vývoj spotřeby energie v EU s vyznačenými cíli pro rok 2020, vlastní úprava z [24, 36]

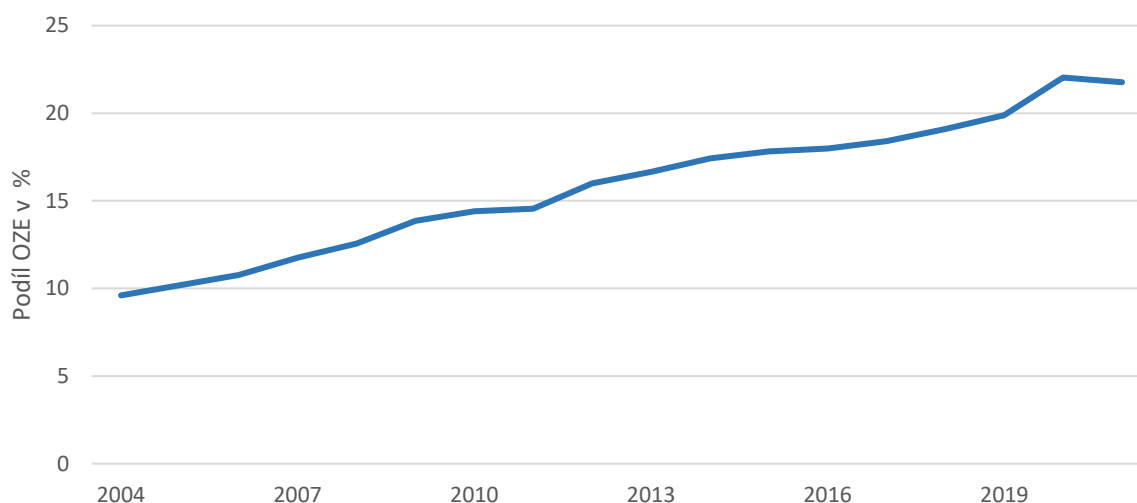
Data pro rok 2021 naznačují opětovné zvýšení jak u primární, tak u konečné spotřeby energie. Spotřeba stoupla na 0,7 % u konečné, respektive 0,5 % u primární, pod cíl pro rok 2020 [24]. To je spojeno s oživením po uvolnění opatření souvisejících s pandemií. Lze tedy konstatovat, že cíle energetické účinnosti pro rok 2020 bylo dosaženo pouze díky zpomalení v sektorech průmyslu a dopravy, které je spojeno s omezeními v důsledku pandemie COVID-19. Shrnutí splnění cílů energetické účinnosti je znázorněno v následující tabulce 4.

Tabulka 4 Porovnání dosažené hodnoty spotřeby energie s cílovou hodnotou [24, 37]

Energetická účinnost	Primární spotřeba [Mtoe]	Konečná spotřeba [Mtoe]
Cílová hodnota	1 312	959
Skutečně dosažená hodnota	1 236	907

1.5.3 Obnovitelné zdroje energie

EU dosáhla v roce 2020 22% podílu obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie a cíl byl tedy splněn [36]. Rostoucí trend využívání obnovitelných zdrojů energie, jak je znázorněno na obr. 1.11 níže, je způsoben hlavně stále větším využíváním těchto zdrojů pro výrobu elektrické energie, kde podíl dosahoval 37,4 % [23]. Pro oblast vytápění a chlazení vychází podíl OZE na 23 % [16]. Cíle bylo dosaženo s rezervou, nicméně podíl OZE na konečné spotřebě energie v EU v roce 2021 vůbec poprvé meziročně klesl, a to o 0,3 % z 22,1 % na 21,8 % [36]. Tento pokles je způsoben uvolněním proticovidových opatření, které vedlo k navýšení spotřeby energie, a tedy k poklesu podílu obnovitelných zdrojů navzdory nárůstu výroby energie z těchto zdrojů. V EU patří podle podílu OZE na konečné spotřebě energie do čela Švédsko, které mělo v roce 2021 podíl téměř 63 %. Naopak pod celoevropský průměr patří 15 z 27 členských států včetně České republiky i Německa. Česká republika dosáhla podílu OZE na konečné spotřebě energie 17,7 % a Německo 19,2 % [35].



Obr. 1.11 Vývoj podílu obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie, vlastní úprava z [23, 36]

V tabulce 5 je porovnání skutečně dosažené hodnoty podílu obnovitelných zdrojů energie na spotřebě energie spolu s cílem pro rok 2020. Cíl byl 20 % celkově a 10 % v sektoru dopravy a obou cílů bylo v roce 2020 dosaženo [37].

Tabulka 5 Porovnání cíle s reálně dosaženou hodnotou podílu obnovitelných zdrojů [36]

Podíl OZE na konečné spotřebě energie	Celkově	Sektor dopravy
Cíl	20 %	10 %
Skutečně dosažená hodnota	22,1 %	10,3 %

1.6 Současné trendy dekarbonizace

Cíle o energetických úsporách pro rok 2020 bylo dosaženo ve větší míře jen díky opatřeními spojenými s pandemií COVID-19. Primární i konečná spotřeba energie dokonce stoupla nad limit vytyčený pro rok 2020. Po uvolnění protipandemických opatření i emise skleníkových plynů vystoupaly na úroveň z roku 2019, podíl obnovitelných zdrojů na spotřebě energie poprvé v historii klesl, což nebylo způsobeno poklesem výroby obnovitelnými zdroji, ale celkovým nárůstem spotřeby energie. Emise skleníkových plynů v EU poklesly přibližně o třetinu v porovnání s rokem 1990 a tento trend je nadále klesající. Tato redukce je způsobena především díky nárůstu využívání obnovitelných zdrojů, přechodu z uhlí na zemní plyn, a zlepšení energetické účinnosti využívaných zařízení. Svůj podíl mají ovšem jednak strukturální změny ve společnosti, ale také například menší výroba v energeticky náročných sektorech průmyslu. Určitá část emisí byla ze statistiky EU eliminována díky přesunu výroby do jiných zemí, kde nejsou tak přísné environmentální předpisy a následný import výrobků zpět do EU [37]. Do jaké míry jsou emise v EU ovlivněny přesunem uhlíkově náročných výrob do jiných zemí je obtížné určit, jelikož data o emisích mohou být nekompletní, nebo nepřesná. Podle odhadu Evropské komise je přibližně 10 % celkových emisí EU vázáno na importované zboží ze zemí, které nemají tak přísnou environmentální politiku [37]. Z globálního pohledu tvořily emise v EU v roce 2017 pouze 7 % všech celosvětově vypuštěných emisí a tento podíl by se měl s rostoucí populací a vývojem v jiných částech světa dále snižovat, stejně jako podíl na kumulovaných emisích od roku 1750, které v současné době tvoří 20 % [101].

1.6.1 Referenční scénář pro rok 2030

Referenční scénář je analytický nástroj Evropské komise v oblasti energetiky, dopravy a emisí skleníkových plynů. Slouží jako základní scénář, který popisuje, jak by se vyvíjela energetika, emise skleníkových plynů, doprava i další sektory, pokud by byla dodržena veškerá opatření ustanovená do daného roku. Tímto rokem, pro aktuálně vypracovaný referenční scénář EU Reference, je rok 2020. Je využíván jako základ, který odráží výsledky nově přijatých politik [38]. Referenční scénář předpovídá významné změny v energetice a dopravě vyplývající z národních a celounijních politik. Předpokládá se, že trend oddělování růstu HDP od růstu poptávky po energii bude nadále zrychlovat, a to hlavně díky obnovitelným zdrojům a lepší energetické účinnosti. Emise skleníkových plynů mají klesat ve většině odvětví, zejména ve výrobě elektrické energie, a to i přes nárůst poptávky po výrobě elektrické energie. Dekarbonizace sektoru výroby elektrické energie bude poháněna hlavně zvyšující se cenou emisních povolenek v systému ETS a také snižující se cenou technologií obnovitelných zdrojů [38]. Referenční scénář předpovídá rostoucí elektrifikaci, hlavně v sektorech dopravy a budov. Kombinace využití nízkoemisní elektrické energie pro vytápění, nebo pohon vozidel sníží uhlíkovou stopu i konečnou spotřebu energie v těchto sektorech. Emise jiných plynů, než CO₂ se vyvíjejí odlišně. Zatímco například u fluorovaných uhlovodíků (HFC), používaných primárně jako chladiva, se očekává strmý pokles u emisí methanu ze zemědělství jen mírný, nebo setrvání na současné hodnotě [38]. V krátkodobém horizontu by do roku 2030 podle scénáře klesly emise o 43,8 % v porovnání s rokem 1990 na přibližně 2792 MtCO₂eq. Podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie by byl 33,2 % a úsporami energie by se dosáhlo 1 124 Mtoe primární, respektive 864 Mtoe konečné spotřeby energie [38]. Výstupy z referenčního scénáře jsou shrnuty v tabulce 6.

Tabulka 6 Výstupy z referenčního scénáře EU 2020 [38]

Referenční scénář EU 2020	2030
Celkové emise skleníkových plynů	2 792 MtCO ₂ eq
Podíl OZE na konečné spotřebě energie	33,2 %
Primární spotřeba energie	1 124 Mtoe
Konečná spotřeba energie	864 Mtoe

V horizontu do roku 2050 s absencí dalších opatření pro snížení emisí by emise skleníkových plynů klesly o 59,4 % oproti roku 1990 [38]. Redukce emisí, ani podíl obnovitelných zdrojů na spotřebě energie nedosahují cílových hodnot pro rok 2030 a ani v tomto scénáři není dosaženo klimatické neutrality v roce 2050. Celkově projekce v referenčním scénáři nestačí k dosažení nových klimatických cílů stanovených v Klimatickém zákoně. To znamená, že opatření představená v balíčku Fit for 55 jsou pro cestu dekarbonizace hospodářství EU v daném časovém horizontu do roku 2050 nutná.

1.6.2 Shrnutí cílů

Shrnutí cílů obsažených v plánu REPowerEU z roku 2022 vypadá následovně. Podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie má vzrůst na 45 % [15]. V roce 2020 byl podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie přibližně 22 % a 45% podíl v roce 2030 znamená nárůst o 143 Mtoe v obnovitelné energii. Současně primární i konečná spotřeba energie mají být v roce 2030 o 13 % nižší oproti referenčnímu scénáři. Primární spotřeba v EU by měla klesnout na 980 Mtoe a konečná spotřeba energie na 750 Mtoe [15]. Tyto opatření budou mít za následek snížení vypuštěných emisí o 58-60 % oproti roku 1990 spolu se započítáním pohlcení uhlíku v sektoru LULUCF [15]. Toto snížení emisí je v souladu

s cílem redukce emisí o alespoň 55 % dle Fit for 55. Cíle pro rok 2030, spolu s porovnáním s rokem 2020, jsou shrnuty v tabulce 7.

Tabulka 7 Porovnání klimatických cílů EU pro rok 2030 s rokem 2020 [15, 23]

Shrnutí klimatických cílů celá EU	2020	2030
Podíl energie z obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie	195 Mtoe	338 Mtoe
Primární spotřeba energie	1 236 Mtoe	980 Mtoe
Konečná spotřeba energie	886 Mtoe	750 Mtoe
Výroba biometanu	3 bcm	35 bcm

Česká republika, stejně jako další členské státy Evropské unie, podpořila Zelenou dohodu pro Evropu a zavázala se k plnění jejich cílů. V rámci snahy o rozvoj obnovitelných zdrojů schválila česká vláda na začátku roku 2020 energeticko – klimatický plán (NECP), který mimo jiné počítá s 22% podílem energie z obnovitelných zdrojů do roku 2030 na celkovém energetickém mixu ČR [39]. Podíl 22 % je podle posouzení Evropské komise nedostatečně ambiciózní a měl by být navýšen [39]. Konečná spotřeba energie se musí snížit o 13 % v porovnání s referenčním scénářem bez dodatečných opatření a to na 22,47 Mtoe [40]. Tabulka 8 shrnuje vybrané klimatické cíle ČR pro rok 2030.

Tabulka 8 Shrnutí klimatických cílů ČR pro rok 2030 [39, 40]

Shrnutí klimatických cílů a příspěvků ČR	2030
Emise skleníkových plynů spadající pod nařízení o sdílení úsilí (ESR)	-26 %
Podíl energie z obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie	23 %
Konečná spotřeba energie	22,47 Mtoe
Úroveň propojitelnosti elektroenergetických soustav	44,1 %

2 Potřeba nových zdrojů energie

Pro úspěšný energetický přechod v EU a splnění všech plánovaných cílů pro roky 2030 i 2050 bude potřeba nahradit ohromné množství energie novými zdroji za poměrně krátký čas. I kdyby nebylo dosaženo požadovaných hodnot úspor na primární i konečné spotřebě energie, tak energetický přechod znamená signifikantní pokles využití fosilních paliv. Tato fosilní paliva budou muset být nahrazena obnovitelnými zdroji energie, což ale znamená značné požadavky na dodatečnou elektrifikaci, flexibilitu, nebo akumulaci energie. V následujících kapitolách je sumarizováno, kolik energie z fosilních zdrojů bude nutné nahradit pro splnění cílů Zelené dohody pro Evropu a cílů uvedených v plánech Fit for 55. Bude uvedeno hodnocení potřeby nových obnovitelných zdrojů energie i nastíněna potřeba akumulace pro ČR i EU. Dále jsou zde uvedeny scénáře energetického přechodu na bezemisní zdroje jak pro celou EU, tak jen pro Českou republiku. Scénáře využívají jak modelu EUCalc, tak vlastních výpočtů z energetické bilance. Pro celou EU je také uvedeno srovnání výstupů ze scénáře EUCalc s hodnocením potřebných zdrojů energie dle zprávy *100 % Renewable Europe: How To Make Europe's Energy System Climate-Neutral Before 2050* [91].

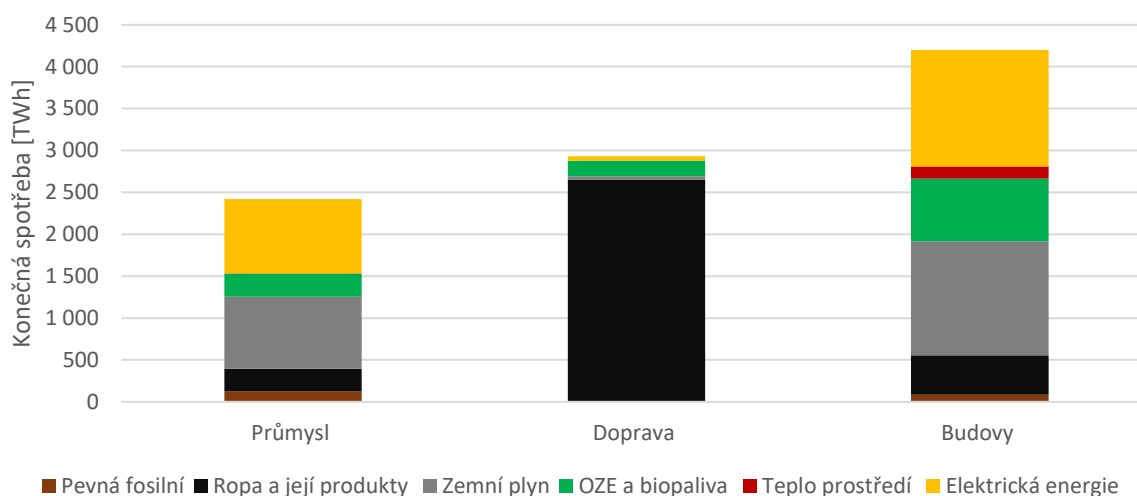
2.1 Stav zdrojů energie v roce 2020

Data o výrobě elektrické energie a o konečné spotřebě z roku 2020 budou dále používána jako základ pro porovnávání s cílovými roky 2030 a 2050. V současné době jsou k datu 2020 instalované kapacity výroby elektrické energie v EU shrnuty v tabulce 9.

Tabulka 9 Souhrn výroby elektrické energie v EU za rok 2020 [23, 41]

Elektrická energie v EU rok 2020	Instalovaná kapacita [GW]	Vyrobená energie [TWh]	Podíl na celkové výrobě [%]
Větrné elektrárny	217,5	397,4	14,6
Solární elektrárny	153	139,2	5,1
Vodní elektrárny	128	374,5	13,8
Biomasa a bioplyn	35,6	143,8	5,3
Geotermální elektrárny	2,6	17,3	0,6
Zemní plyn	268,2	560,1	20,6
Uhelné elektrárny	131,9	351,4	12,9
Ropa	14,5	48,1	1,8
Jaderné elektrárny	107,4	683,5	25,2

Celková instalovaná kapacita v EU byla v roce 2020 522 GW pro konvenční a fosilní zdroje a 536,4 GW pro obnovitelné zdroje energie. Tyto instalované kapacity vyrobily v roce 2020 celkem 2 781 TWh. Celkově se obnovitelné zdroje energie podílely na výrobě elektrické energie v celé EU za rok 2020 ze 39 % [41]. Konečná spotřeba energie v EU je zobrazena na obr. 2.1. Rozložení spotřeby v celé EU je podobné tomu v České republice s rozdílem spotřeby v sektoru budov, kdy v EU průměru tvoří větší podíl teplo prostředí a ropné produkty, zatímco v ČR mají vyšší zastoupení pevná fosilní paliva. V průměru EU tvořilo přímé využití fosilních paliv 57 % spotřeby a obnovitelné zdroje pokryly z konečné spotřeby za rok 2020 v EU 22 % [23, 41].

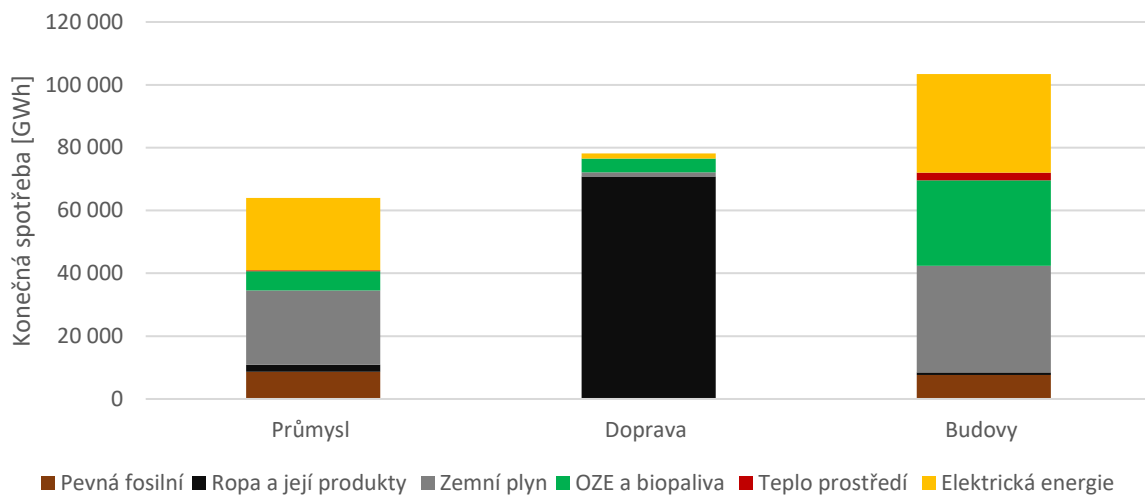


Obr. 2.1 Konečná spotřeba energie v EU za rok 2020 podle zdroje v sektorech průmyslu, dopravy a budov, vlastní úprava z [23]

Pro Českou republiku je instalovaná kapacita uvedena v tabulce 10. Česká republika má ve srovnání s průměrem z celé EU nižší zastoupení obnovitelných zdrojů na výrobě elektrické energie (10 %), hlavně co se týká podílu větrných a solárních elektráren [43]. I přes to byla uhlíková intenzita výroby elektrické energie v ČR za rok 2022 srovnatelná například s Německem, které vyrobilo pomocí obnovitelných zdrojů 48 % elektrické energie. ČR vypustila v průměru na každou kWh vyrobené elektrické energie 533 g CO₂eq, zatímco u Německa to bylo 517 g CO₂eq [44]. To je způsobeno hlavně vyšší produkcí jadernými elektrárnami. Konečná spotřeba energie České republiky v sektorech průmyslu, dopravy a budov je zobrazena na následujícím obr. 2.2. Přímé využití fosilních zdrojů dosahovalo 54 % celkové spotřeby těchto sektorů [43]. Obnovitelné zdroje pokryly 17,5 % a dále například u sektoru budov lze pozorovat vyšší podíl přímého využití pevných fosilních paliv, než je tomu u celounijního průměru.

Tabulka 10 Souhrn výroby elektrické energie v ČR za rok 2020 [42, 43]

Elektrická energie v ČR rok 2020	Instalovaná kapacita [MW]	Vyrobena energie [TWh]	Podíl na celkové výrobě [%]
Větrné elektrárny	339,4	0,7	0,9
Solární elektrárny	2 083,4	2,3	2,8
Vodní elektrárny	1 113,4	3,4	4,2
Biomasa a bioplyn	1 600	5,1	6,3
Zemní plyn	2 324,9	6,8	8,4
Uhlé elektrárny	9 527	31	38,1
Jaderné elektrárny	4 290	30	36,9



Obr. 2.2 Konečná spotřeba energie v ČR za rok 2020 podle zdroje v sektorech průmyslu, dopravy a budov, vlastní úprava z [42, 43]

Koeficient využití

V závislosti na technologii, kterou je elektrická energie vyráběna, různé druhy elektráren vyrobí za rok různé množství elektrické energie. To je způsobeno faktem, že elektrárny málokdy pracují na své nominální hodnotě výkonu neboli maximální instalované kapacitě, nebo z důvodu odstávek nejsou v provozu po celou část roku. To platí hlavně pro obnovitelné zdroje, jejichž produkce je silně závislá na okolních podmínkách [45]. Teoretické maximum při celoročním nonstop provozu elektrárny o výkonu 1 GW je dáno následujícím vztahem (2.1) [45, 46].

$$E_{max} = 0,001 \cdot 24 \cdot 365 = 8,76 \text{ TWh/rok} \quad (2.1)$$

Koeficientem využití se vyjadřuje poměr reálné produkce k teoretickému maximu. Míra využití energie z jednotky instalovaného výkonu pro zdroje, se kterými je počítáno, je znázorněna v následující tabulce 11.

Tabulka 11 Roční produkce elektrické energie z 1 GW instalovaného výkonu [46]

Zdroje výroby elektrické energie o 1 GW	Produkce elektrické energie [TWh/rok]	Koeficient využití
Teoretické maximum	8,76	100 %
Elektrárny na fosilní paliva	6,9	78,8 %
Vodní elektrárny	2,7	30,8 %
Větrné elektrárny	2,1	24 %
Solární fotovoltaické elektrárny	1	11,1 %
Elektrárny na biomasu (bioplyn, odpadní)	3,4	38,3 %
Jaderné elektrárny	7,2	83 %

Koeficient využití u obnovitelných zdrojů energie závislý na okolních podmínkách, počasí, a tedy i geografické poloze ve které se nachází. Nelze tedy přesně určit hodnoty platné pro celé území EU. Koeficienty využití v tabulce a pro výpočet jsou platné pro region střední Evropy v roce 2020 [46]. Z hodnot koeficientů využití pro jednotlivé zdroje a vypočtené potřebné nové energie pro splnění požadavků na obnovitelné zdroje a energetickou účinnost

uvedených v plánech dekarbonizace EU lze určit potřebný instalovaný výkon. V tabulce 11 uvedený koeficient využití fosilních elektráren neplatí pro flexibilní plynové zdroje, které vykrývají špičkový výkon podle situace na trhu.

2.2 Scénáře pro energetický přechod

Hodnocení energetického přechodu je provedeno pro dva scénáře. První scénář je založen na modelu EUCalc, který je nástrojem Evropské komise pro modelování cest ke klimatické neutralitě [47]. Pomocí tohoto modelu je zpracována transformace energetiky jak pro ČR, tak na celounijní úrovni. Druhý scénář je vytvořen vlastním výpočtem z energetických bilancí pro ČR na základě úpravy konečné spotřeby energie a produkce elektřiny tak, aby odpovídala cílům uvedených dekarbonizačních plánů.

2.2.1 Model EUCalc

Hodnocení potřeby nových zdrojů pro EU v roce 2030 vychází z plánů obsažených v balíčcích Fit for 55, případně REPowerEU, jejichž znění je shrnuto v dřívějších kapitolách. V těchto balíčcích a v na ně navazujících dokumentech od evropské komise jsou přesně stanoveny cíle, týkající se spotřeby energie, obnovitelných zdrojů, nebo emisí skleníkových plynů kterých je v plánu dosáhnout. Zdroje energie jsou navrženy pomocí modelu PRIMES od Evropské komise [15, 48]. Jedná se o model energetiky navržený tak, aby projektoval poptávku po energii, nabídku, ceny a emise pro členské země a posuzoval dopady přijatých politik. Mezi vstupy modelu PRIMES patří například energetické bilance členských zemí a historická data Eurostatu týkající se energetiky, nebo také data o populaci, dotazníky a plánované investice. Výstupem potom je energetická bilance, související emise CO₂, ale také ekonomické informace související s energetickým systémem pro daný rok [49]. Pro návrh nových zdrojů v EU pro rok 2050 je využito modelu EUCalc, který byl využitý i pro hodnocení potřeb nových zdrojů pro ČR pro oba cílové roky 2030 i 2050 [47]. Model EUCalc modeluje různé scénáře vývoje k uhlíkové neutralitě na vnitrostátní i celounijní úrovni. Model se skládá z patnácti vzájemně závislých modulů, které představují stranu nabídky a poptávky, činností, materiálů, energie, emisí stejně jako propojení energetického systému se společností a životním prostředím. Základem jsou z energetického hlediska relevantní sektory zemědělství, budov, výroby a skladování energie, dopravy a průmyslu [47].

Model pracuje s úrovněmi ambicí v jednotlivých odvětvích, které reprezentují možné změny pro zmírnění klimatické změny. Každé odvětví má 4 úrovně ambicí, které nabízejí širokou škálu možností od nejméně po nejvíce ambiciózní a umožňuje tedy širokou škálu možných trajektorií dekarbonizace [47]. Model pracuje s úrovněmi ambicí následovně:

- Úroveň 1 obsahuje projekce, které jsou v souladu se současnými trendy.
- Úroveň 2 je více ambiciózní než současné trendy, ovšem nedochází k naplnění plného potenciálu.
- Úroveň 3 je považována za velmi ambiciózní, byť realistickou se současnou technologií.
- Úroveň 4 je úrovní transformační a vyžaduje velké dodatečné úsilí, změny v organizaci společnosti i rychlé zavádění nových technologií.

Vstupními parametry pro model EUCalc jsou úrovně ambicí v základním chování společnosti, dopravě, průmyslu, budovách, energetice, zdrojů a využití půdy. Výstupem potom dopady na spotřebu energie, emise skleníkových plynů, čerpání zdrojů, nebo znečištění životního prostředí [47]. Pro hodnocení potřeby nových zdrojů energie byly do modelu EUCalc zařazeny vstupní parametry tak, aby výsledný scénář byl v souladu se Zelenou dohodou pro Evropu a balíčkem REPowerEU.

Model EUCalc počítá s velmi výraznými úsporami energie díky změně chování ve společnosti. Některé změny potřebné pro splnění požadavku na klimatickou neutralitu na celounijní úrovni v roce 2050 jsou dále uvedeny. Například v odvětvích budov, nebo v cestování je nastavena úroveň ambicí na úroveň 4. Počítá se tedy i například s omezením využívání individuální automobilové dopravy jako dominantního způsobu dopravy ve prospěch hromadné dopravy, nebo jízdních kol a chůze. V roce 2018 představovalo v EU cestování autem 83 % osobokilometrů, toto číslo by mělo klesnout na 54 % a zároveň průměrná obsazenost aut by měla stoupnout z 1,6 na 2,3 osoby na auto [47]. Průměrný obyvatel EU by měl za rok urazit autem maximálně 11500 km, což je přibližně stejně jako v roce 2020. Mezi další úsporné předpoklady patří například omezení spotřeby masa na osobu o 45 %, nebo zmenšení průměrné obytné plochy na osobu o 19 % na 37 m² [47]. Model EUCalc také počítá se zachytáváním a ukládáním emisí CO₂ v průmyslu a výrobě elektřiny. Celkem 25 % emisí z těchto odvětví by mělo být zachyceno [47].

2.2.2 Vlastní scénář pro dekarbonizaci ČR

Scénář pro klimatickou neutralitu v ČR v roce 2050 a odpovídající požadavkům vycházejících z balíčku Fit for 55 a REPowerEU pro rok 2030 byl vytvořen vlastními výpočty z energetické bilance s níže popsanými předpoklady [43]. Scénář je zaměřen na tři sektory, kterými jsou průmysl, doprava a budovy. Tyto sektory tvoří převážnou část konečné spotřeby energie a také emisí skleníkových plynů, a proto tedy budou emise i spotřeba v ostatních sektorech zanedbány. Celková konečná spotřeba ČR v roce 2050 bude bez fosilních paliv, jejichž přímé využití bude nahrazeno elektrickou energií, obnovitelnými zdroji, vodíkem, nebo teplem prostředí. V tomto scénáři není počítáno s tím, že by ČR některé své emise CO₂ ukládala. Celková konečná spotřeba bude ve výsledku nižší o 34 %, a to díky zvyšující se energetické účinnosti nových technologií, kterými budou nahrazovány starší založené na fosilních palivech. Proto byla konečná spotřeba nejdříve přepočítána přes účinnosti na užitečnou energii a následně znovu přes účinnosti nových technologií na novou energii. Shrnutí použitých účinností je v tabulce 12. Dále je počítáno s úsporou energií díky renovacím a zvyšující se energetickou účinností v sektoru budov 20 % oproti stavu v roce 2020 [50]. Jedná se o odhad na spodní hranici v souladu s předpokladem Mezinárodní agentury pro energii (IEA) [50]. S jinými formami úspor energie, například se změnami chování ve společnosti, jako tomu bylo ve scénáři EUCalc, počítáno není.

Tabulka 12 Účinnosti přeměny energie v sektorech průmyslu, dopravy a budov [49, 51]

Účinnosti přeměny energie	Průmysl	Doprava	Budovy
Pevná fosilní	0,9	-	0,9
Ropa a její produkty	0,9	0,35	0,9
Zemní plyn	0,9	0,3	0,9
Obnovitelné zdroje a biopaliva	1	0,35	0,85
Elektrická energie	1	0,95	1

Teplo prostředí a vodík jsou řešeny zvlášť, a to z důvodu, že na jejich podílu na konečné spotřebě energie je závislá také spotřeba elektrické energie, neboť je potřebná jak pro výrobu vodíku, tak pro provoz tepelných čerpadel. Příklad výpočtu zvýšení spotřeby elektřiny z důvodu využití vodíku a tepla prostředí je uveden v kapitole 2.3.2.

Sektor průmyslu

Přibližně polovina průmyslu bude přímo elektrifikována. V tomto sektoru je na emise nejvíce náročná výroba a zpracování kovů, dále pak odvětví chemické. Jako nositele energie

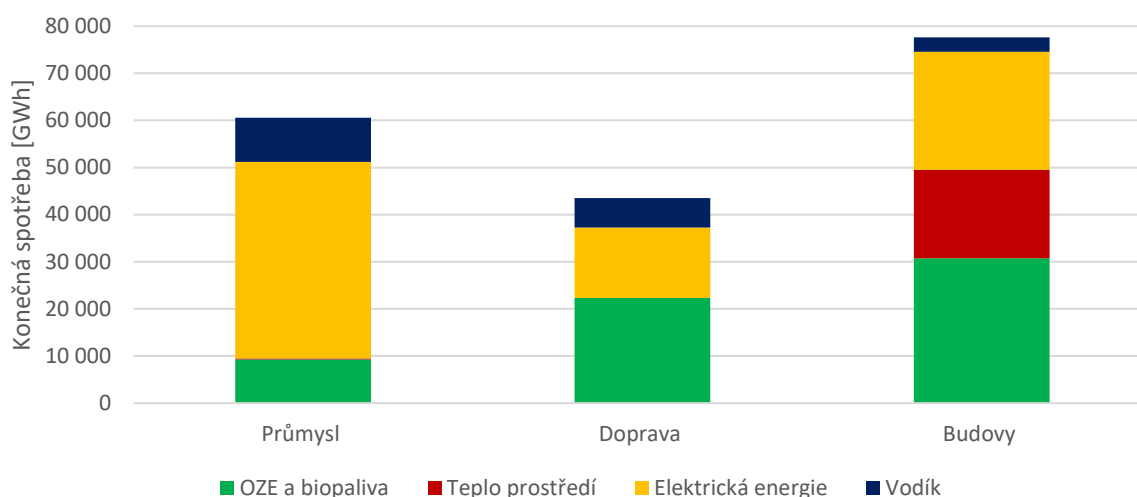
bude v průmyslu také využíváno vodíku. V souhrnu tedy dekarbonizace průmyslu stojí na maximální elektrifikaci s využitím vodíku a v menší míře také biometanu a biopaliv [51].

Sektor budov

Budovy podle nastíněného scénáře budou díky renovacím spotřebovávat o pětinu méně energie než dnes. Potřeby energie sektoru budov jsou pokryty elektrickou energií, obnovitelnými zdroji a teplem prostředí [50, 51].

Sektor dopravy

U sektoru dopravy dochází k největšímu poklesu spotřeby energie, a to o 50 %. Ve scénáři je počítáno se stejnou poptávkou po dopravě v roce 2050 jako v roce 2020. Pokles spotřeby energie je způsoben náhradou méně účinných spalovacích motorů elektromotory. Dekarbonizovaná doprava je tvořena hlavně elektřinou, alternativními palivy a menší část také vodíku [51]. Navrhovaná konečná spotřeba energie ČR pro rok 2050 je zobrazena na obr. 2.3.



Obr. 2.3 Návrh konečné spotřeby energie v ČR v roce 2050 podle zdroje v sektorech průmyslu, dopravy a budov, vlastní výpočet, zpracování z [43, 50]

Elektroenergetika

Ve scénáři je počítáno s prodloužením provozu současných jaderných reaktorů v Dukovanech do roku 2047, zároveň se předpokládá do roku 2050 spuštění dvou nových 1 200 MW bloků v Dukovanech a následně dvou dalších nových bloků o stejném výkonu v lokalitě Temelín [52]. Celková instalovaná kapacita jaderných elektráren v ČR je určena na 7 050 MW. Fosilní elektrárny nebudou produkovat žádnou elektrickou energii, všechna ostatní produkce bude realizována pomocí obnovitelných zdrojů energie. S odklonem od uhlí je ve scénáři počítáno v roce 2030 a to z důvodu redukce emisí v souladu s balíčkem Fit for 55 [53]. Potenciál rozvoje vodních elektráren do roku 2050 je odhadován na nárůst o 47 MW vůči stavu z roku 2020 a to pouze u malých vodních elektráren [52]. U elektráren využívajících energii spalováním biomasy a bioplynu je předpokládáno setrvání na přibližně stejné hodnotě jako v roce 2020. Nové větší bioplynové stanice již nebudou vyrábět elektrickou energii z bioplynu, nýbrž bude bioplyn dále upravován na biometan, který má širší využití. V českých podmínkách dopadne ročně na 1 m² solárních panelů okolo 1,3 MWh energie [52]. Potenciál pro tuto výrobu je nejvhodnější na střechách, v bývalých povrchových dolech a brownfieldech. Nicméně potenciál má i zemědělská krajina, kde by stačilo nahrazení 1 300 km² v ČR pěstované řepky

solárními panely pro výrobu až 70 TWh elektřiny za rok [52]. Technický potenciál větru pro výrobu elektřiny je dle AV ČR odhadován na přibližně 71 TWh ročně [54].

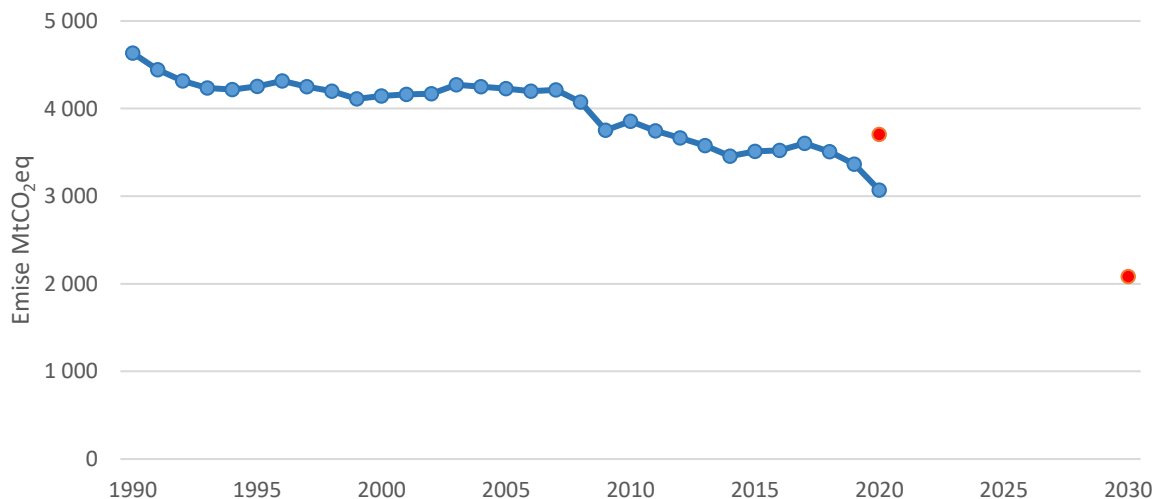
Celkově bude potřeba podle navrhnutého scénáře v roce 2050 pokrýt 121,9 TWh spotřeby, z čehož bude 50,8 TWh z jádra a 71,2 TWh z obnovitelných zdrojů energie.

2.3 Změny do roku 2030

V následujících kapitolách jsou shrnuty potřeby nových zdrojů energie do roku 2030 pro oba dříve zmíněné scénáře.

2.3.1 Emise skleníkových plynů

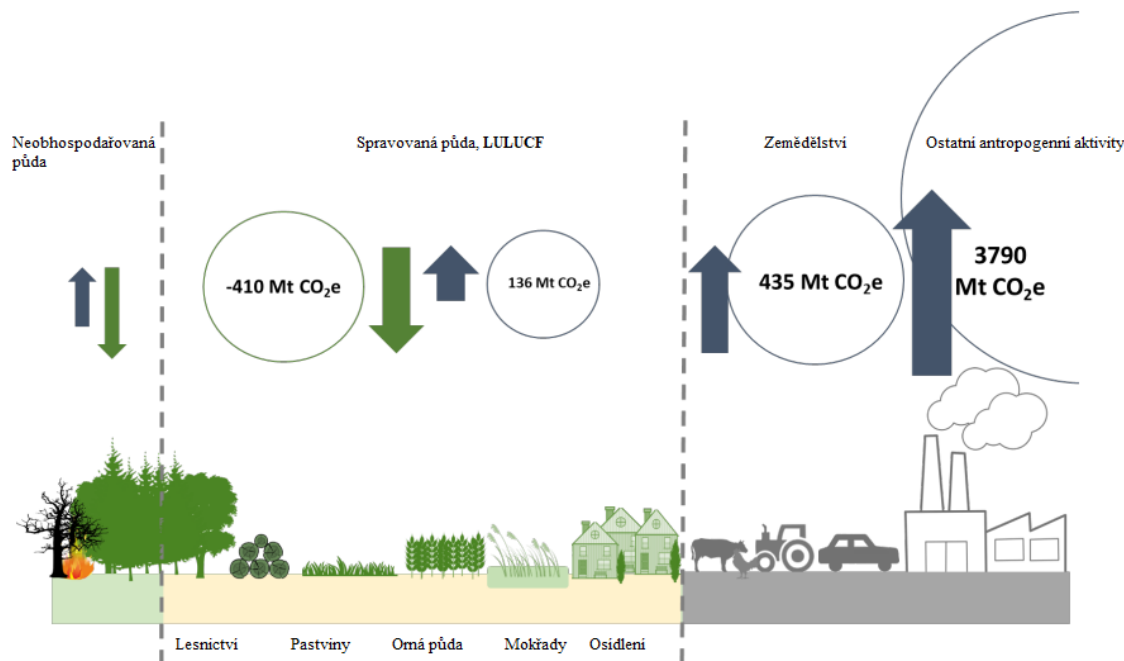
Z pohledu emisí skleníkových plynů bude potřeba v EU jejich objem snížit o 55 % [15]. V roce 2030 tedy podle plánů bude vypuštěno do ovzduší 2085 MtCO₂eq. Uvolněné emise v roce 2020 byly rovny 3 068,7 MtCO₂eq, a tedy stále zbývá v této dekádě eliminovat 983,7 MtCO₂eq [10]. Ovšem současný trend vývoje poklesu emisí není vyhovující a EU tedy bude muset implementovat nová opatření pro redukci emisí. Historické emise EU spolu s vyznačenými cílovými hodnotami pro roky 2020 a 2030 jsou znázorněny na následujícím obr. 2.4.



Obr. 2.4 Vývoj emisí EU a naznačenými cíli pro roky 2020 a 2030, vlastní zpracování z [10]

Současný systém obchodování s emisemi podporuje pouze snižování emisí na ekonomické úrovni. EU by tedy pro splnění limitu vypuštěných emisí skleníkových plynů neměla spoléhat pouze na mechanismus ETS, ale potřebuje i další opatření. Mezi ně by mohlo patřit zachycování a ukládání uhlíku, nebo rozšiřování vegetace s cílem pohlcení uhlíku. V současné době posledních deseti let je trend pohlcování emisí v sektoru lesnictví a využití půdy (LULUCF) na úrovni EU klesající [56]. To je způsobeno hlavně zvýšením míry těžby z důvodu přetrvávajícího sucha a jiných přírodních katastrof a také stárnoucími lesy v některých členských státech, které již nepohlcují tolik CO₂, jako mladší, rostoucí lesy. Zatímco v roce 2006 dosáhly pohlcené emise v sektoru LULUCF maxima s hodnotou 333 MtCO₂eq, v roce 2020 již bylo pohlceno o 30 % emisí méně a to 230 MtCO₂eq [56]. V plánech EU obsažených v balíčku Fit for 55 je uveden cíl pohlcování pro rok 310 MtCO₂eq, který je dále rozdělen na příspěvky jednotlivých členských států [9, 15]. V současné době zabírají lesy v EU 158 miliónů hektarů, pro rozšíření kapacity pohlcovaných emisí na hodnotu požadovanou v roce 2030 by bylo potřeba plochu lesů rozšířit na přibližně 171 miliónů hektarů

[57]. Nicméně k pohlcování emisí CO₂ nedochází jen v lesích, ale důležitou roli zaujímají také jiné půdní systémy jako jsou pastviny, nebo orná půda, kde se nachází většina zásob uhlíku v podobě organické hmoty v půdě. Zlepšené, udržitelné hospodaření s plodinami a hospodářskými zvířaty, nebo sekvence uhlíku v zemědělství může přispět k dalšímu zvyšování množství pohlceného uhlíku [57]. Příklad souhrnu vypuštěných a pohlcených emisí pro EU v roce 2018 je zobrazen na obr. 2.5 níže.



Obr. 2.5 Souhrn vypuštěných a pohlcených emisí EU v roce 2018, vlastní úprava z [57]

ČR generuje přibližně 3,5 % emisí v EU a snižování emisí probíhá prozatím pomalejším tempem, než je celounijní průměr [10]. Lesnictví a využití půdy se v ČR díky kůrovcové kalamitě po roce 2015 a s ní zvýšenou těžbou dřeva stalo místo úložiště uhlíku zdrojem emisí [56]. České republice pomůže pro splnění redukce emisí o 55 % odklon od uhlí do roku 2030 se kterým je počítáno v obou scénářích energetického přechodu. Uhlí phase-out by Česku umožnil snížit emise o 60 % v porovnání s rokem 1990 [55].

2.3.2 Spotřeba energie

Scénář EUCalc

Z požadavků EU uvedených v balíčku REPowerEU na rok 2030 vychází, že pokud se podaří plánované snížení konečné spotřeby o 13 % vzhledem k referenčnímu scénáři z roku 2020, tak bude nutné, aby bylo 338,4 Mtoe z konečné spotřeby pokryto obnovitelnými zdroji energie [23]. To znamená mezi lety 2020 a 2030 zajistit celkem 143,5 Mtoe nové obnovitelné energie, která nahradí fosilní zdroje. Průměrně je tedy potřeba zvyšovat podíl OZE na spotřebě energie o 2,3 % ročně. Porovnání konečné spotřeby energie z roku 2020 s navrženou konečnou spotřebou pro rok 2030 tak, aby odpovídala balíčku REPowerEU je zobrazeno v tabulce 13. Pro splnění cílů o energetické účinnosti je potřebný pokles o průměrných 13,3 Mtoe ročně na konečné spotřebě.

Tabulka 13 Konečná spotřeba energie v EU v roce 2030 s rozdílem vůči roku 2020 scénář EU Calc [15, 47]

Konečná spotřeba EU 2030 EU Calc	2030 [TWh]	Rozdíl vůči 2020 [TWh]
Teplo prostředí	495,4	347,7
Biopaliva a obnovitelné zdroje	1 237,4	25,6
Elektrická energie	2 887,7	502,4
Vodík	330,3	316,3
Zemní plyn	989,7	-1 265,3
Kapalná fosilní paliva	2 641,2	-967,6
Pevná fosilní paliva	165,1	-55,8

Nejvíce je patrný pokles u zemního plynu, a to hlavně díky zavedení balíčku REPowerEU, který omezuje spotřebu plynu ve všech odvětvích. Zemní plyn bude nahrazován obnovitelným vodíkem a do menší míry také uhlím a ropou [15]. Naopak nárůst se předpokládá u využití vodíku, okolního tepla tepelnými čerpadly a elektrické energie. Díky elektrifikaci sektorů, kde jsou dosud používány fosilní paliva, bude podíl elektrické energie na konečné spotřebě stoupat z dnešních přibližně 23 % na 33 % [23]. Jen tímto přírůstkem se zvýší poptávka po elektrické energii o 503 TWh. Nárůst spotřeby elektrické energie budou pokrývat obnovitelné zdroje, stejně tak jako budou nahrazovat postupně vypínané fosilní zdroje. Elektrická energie vyprodukovaná pomocí obnovitelných zdrojů vzroste v roce 2030 na přibližně dvojnásobek hodnoty z roku 2020 a to na 1 992,3 TWh [15]. Podíl OZE na výrobě elektrické energie bude 69 % [15]. Co se týká jaderné energie, tak se očekává že EU bude mít v roce přibližně 94 GW instalované kapacity [15]. To je mírný pokles oproti hodnotě 107 GW v roce 2020. Elektrická energie vyrobená jadernými elektrárnami v EU bude tedy přibližně stejná i v roce 2030. Pro ČR je spotřeba energie vycházející ze scénáře podle modelu EU Calc zobrazena v následující tabulce 14.

Tabulka 14 Konečná spotřeba energie v ČR v roce 2030 s rozdílem vůči roku 2020 scénář EU Calc [47]

Konečná spotřeba ČR 2030 EU Calc	2030 [TWh]	Rozdíl vůči 2020 [TWh]
Teplo prostředí	9,0	6,3
Biopaliva a obnovitelné zdroje	40,1	0,8
Elektrická energie	69,0	12,0
Vodík	3,2	3,2
Zemní plyn	26,3	-33,7
Kapalná fosilní paliva	54,1	-19,8
Pevná fosilní paliva	12,2	-4,1

Vlastní scénář

Ve vlastním scénáři byla konečná spotřeba energie pro Českou republiku navrhována jako mezikrok k dekarbonizované v roce 2050 a zároveň odpovídající cílům uvedených v REPowerEU. Podle tohoto scénáře bude podíl bezemisních zdrojů na konečné spotřebě 51 % a elektrická energie bude z 84 % bezemisní [43]. Uhlíková intenzita výroby elektrické energie by klesla na z 533 gCO₂eq/kWh na 124 gCO₂eq/kWh [44]. Konečná spotřeba ČR dle vlastního scénáře je uvedena v následující tabulce 15.

Tabulka 15 Konečná spotřeba energie v ČR v roce 2030 s rozdílem vůči roku 2020 vlastní scénář, vlastní výpočet z [43]

Konečná spotřeba ČR 2030 vlastní scénář	2030 [TWh]	Rozdíl vůči 2020 [TWh]
Teplo prostředí	9,2	6,5
Obnovitelné zdroje a biopaliva	47	7,7
Elektrická energie	65,2	8,2
Vodík	6,2	6,2
Zemní plyn	40	-20,0
Kapalná fosilní paliva	49,3	-24,7
Pevná fosilní paliva	10,9	-5,5

V porovnání s výstupem z modelu EUCalc se v tomto scénáři více počítá s využitím zemního plynu na úkor kapalných a pevných fosilních paliv a také elektrické energie. Celková konečná spotřeba je v tomto scénáři o necelých 14 TWh vyšší než v případě EUCalc. Kromě zvýšení spotřeby elektrické energie díky elektrifikaci sektorů, kde se doposud využíval jiný zdroj energie, bude další zvýšení spotřeby způsobeno nárůstem spotřeby vodíku a okolního tepla využíváním tepelných čerpadel. S tímto navýšením je ve scénářích počítáno a dále je uveden příklad výpočtu zvýšení spotřeby elektriny.

Výroba vodíku

V plánech REPowerEU je stanoven velké rozšíření využívání obnovitelného vodíku, který bude pro určité aplikace zaujímat místo zemního plynu a ostatních fosilních paliv [15]. Pro výpočet potřebné elektrické energie pro výrobu obnovitelného vodíku jsou použity následující účinnosti. Účinnost elektrolýzy vodíku (η_{ele}) je rovna 0,75 a dále účinnost transportu a skladování (η_{skl}) na 0,85 [58]. Celková účinnost tedy vychází podle vztahu (2.1) níže na 0,6375.

$$\eta_{celk} = \eta_{ele} \cdot \eta_{skl} \quad (2.1)$$

Výhřevnost 1 Mt vodíku lze pro výpočet uvažovat rovnu 33 TWh [59]. Pro 10 Mt, které jsou v plánu produkovat elektrolýzou v EU, vychází potřebné množství elektrické energie při započítání účinností na 518 TWh. Celkový výkon elektrolyzérů by měl být alespoň 65 GW. Tento výpočet se shoduje s odhadem obsaženým v REPowerEU, který je 500 TWh [15, 48].

Tepelná čerpadla

Pro účel výpočtu spotřeby elektrické energie je počítáno se sezónním COP rovným 2,5 [60]. Pro velká tepelná čerpadla využívaná pro nahrazení fosilních paliv v centrálním zásobování teplem je počítáno s COP 3,5 [60]. Celkem 346,6 TWh navíc z tepla prostředí znamená tedy dalších 138,6 TWh v elektrické energii pro provoz tepelných čerpadel.

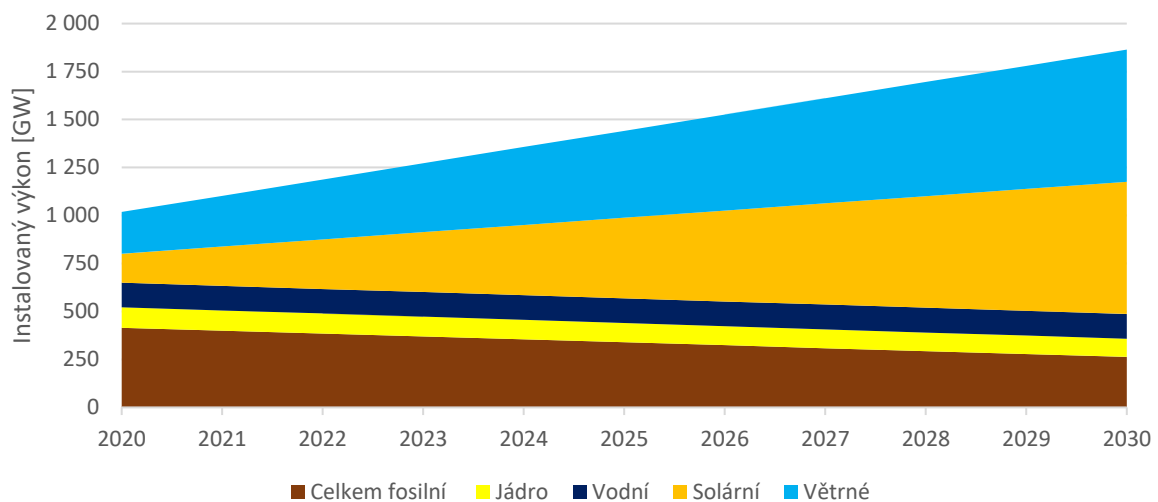
Celková vypočtená spotřeba elektrické energie v EU je ve scénáři EUCalc 2 888 TWh, k tomu připočteno 518 TWh potřebných pro výrobu obnovitelného vodíku a 139 TWh pro tepelná čerpadla, což je celkem 3 545 TWh.

2.3.3 Instalovaná kapacita Scénář EUCalc

Instalovanou kapacitu různých zdrojů energie pro rok 2030 lze odhadnout podle energie, kterou mají tyto zdroje v daném roce vyrobit, což je jeden z výstupů z modelu EUCalc, a podle koeficientu využití následujícím výpočtem (2.2) [45].

$$\text{Instalovaná kapacita} = \frac{\text{Vyrobená energie}}{\text{teoretické maximum} \cdot \text{koeficient využití}} \quad (2.2)$$

U obnovitelných zdrojů bude rozšíření v EU pokryto hlavně využitím fotovoltaických a větrných elektráren a v omezeném množství také využitím biomasy. Vodní elektrárny, nebo ostatní typy obnovitelných zdrojů elektrické energie, zůstanou, co se týká instalované kapacity, přibližně na stejné úrovni jako v roce 2020 [47, 51]. Podíl instalovaného výkonu fotovoltaiky a větrných elektráren stoupne na 72 % z celkového instalovaného výkonu. Fotovoltaika bude instalovaná z 1/2 na střechách. Větrné elektrárny budou mít 36% podíl z celkové instalované kapacity [47].



Obr. 2.6 Prognóza vývoje instalované kapacity v EU dle zdroje mezi lety 2020 a 2030, vlastní zpracování z [15, 41]

Na grafu, který je zobrazen na obr. 2.6, lze pozorovat nárůst instalovaného elektrického výkonu podle zdrojů energie. Celková instalovaná kapacita vzroste z hodnoty 1 058,4 GW v roce 2020 o přibližně 80 % na 1 908 GW v roce 2030 [47]. Znamená to v průměru přidat 54 GW v solárních a 47 GW v nových větrných elektrárnách ročně. Roční růst zdrojů na biomasu je vypočítán na 2 GW [47]. V tabulce 16 je zobrazen rozdíl v instalované kapacitě mezi lety 2020 a 2030 a rozdíl vzhledem k roku 2020.

Tabulka 16 Porovnání instalované kapacity v EU podle scénáře EUCalc mezi lety 2020 a 2030, vlastní úprava z [15, 23, 47]

Instalovaná kapacita EU EUCalc	2020 [GW]	2030 [GW]	Rozdíl [GW]
Celkem fosilní elektrárny	414,6	263,5	-151,1
Vodní elektrárny	128	129,4	1,4
Větrné elektrárny	217,5	689	471,5
Solární elektrárny	150,7	688,3	537,6
Biomasa a bioplyn	35,6	56	20,4
Jaderné elektrárny	107,4	94,1	-13,3

V roce 2020 bylo instalováno 14,8 GW nové kapacity ve větrných elektrárnách a 20 GW nové solární kapacity [61]. Za rok 2021 už byla instalovaná solární kapacita 28 GW a v roce 2022 dokonce 41,4 GW [62]. Instalovaná kapacita větrných elektráren stoupla o 17,4 GW za rok 2021 a 15 GW za rok 2022 [65]. I přes to, že je patrný rostoucí trend v nových instalacích, hodnoty u nových instalací větrných elektráren nejsou ani polovinou toho, kolik by se mělo v EU zprovoznit pro splnění klimatických cílů v roce 2030 [47].

Model EUCalc předpovídá České republice v roce 2030 nižší výrobu elektřiny, a to 68 TWh oproti přibližně 79 TWh v roce 2020 [43, 47]. To je způsobeno tím, že je počítáno s výraznými úsporami energie, také postupným útlumem elektráren na fosilní paliva a dovozem části energie ze zahraničí. V tabulce 17 je zobrazeno porovnání instalované kapacity v ČR mezi lety 2020 a 2030.

Tabulka 17 Porovnání instalované kapacity v ČR podle scénáře EUCalc mezi lety 2020 a 2030, vlastní úprava z [43, 47]

Instalovaná kapacita ČR EUCalc	2020 [MW]	2030 [MW]	Rozdíl [MW]
Uhlí	9 527,2	0	-9527
Zemní plyn	2 324,9	1 732	-193,4
Vodní	1 113,4	728	-384,8
Větrné	339,4	4 587,6	4 248,2
Solární	2 083,4	7 924,2	5 840,8
Biomasa a bioplyn	1 600,0	1 406,6	-193,4
Jádro	4 290,0	5 260,1	970,1
Geotermální	-	121,8	121,8

Model předpovídá výrazný pokles výroby elektřiny, a to i z obnovitelných zdrojů jako jsou vodní elektrárny, nebo elektrárny na biomasu. Dále je projektován nárůst kapacity jaderných elektráren a také vznik první geotermální elektrárny. Roční přírůstky instalované kapacity obnovitelných zdrojů vychází na 424,8 MW pro větrné elektrárny a 584,1 MW pro solární elektrárny [47].

Vlastní scénář

Ve vlastním scénáři je počítáno s následujícími předpoklady. Nulová kapacita uhelných elektráren, které budou do roku 2030 odstaveny, instalovaná kapacita vodních, jaderných a elektráren na biomasu a bioplyn zůstává na hodnotě z roku 2020. Zvýšená spotřeba je pokryta rozvojem větrných a fotovoltaických elektráren a zemním plynem. Česká republika se také v roce 2030 stane, díky odstavení uhelných elektráren, dovozcem elektrické energie [43].

V tabulce 18 je zobrazeno porovnání instalované kapacity různých zdrojů mezi lety 2020 a 2030.

Tabulka 18 Porovnání instalované kapacity v ČR podle vlastního scénáře mezi lety 2020 a 2030, vlastní úprava z [43]

Instalovaná kapacita ČR vlastní scénář	2020 [MW]	2030 [MW]	Rozdíl [MW]
Uhlí	9 527,2	0	-9 527,2
Zemní plyn	2 324,9	5 724,9	3 400,0
Vodní	1 113,4	1 113,4	0
Větrné	339,4	4 936,2	4 596,8
Solární	2 083,4	10 500,0	8 416,6
Biomasa a bioplyn	1 600,0	1 600,0	0
Jádro	4 290,0	4 290,0	0

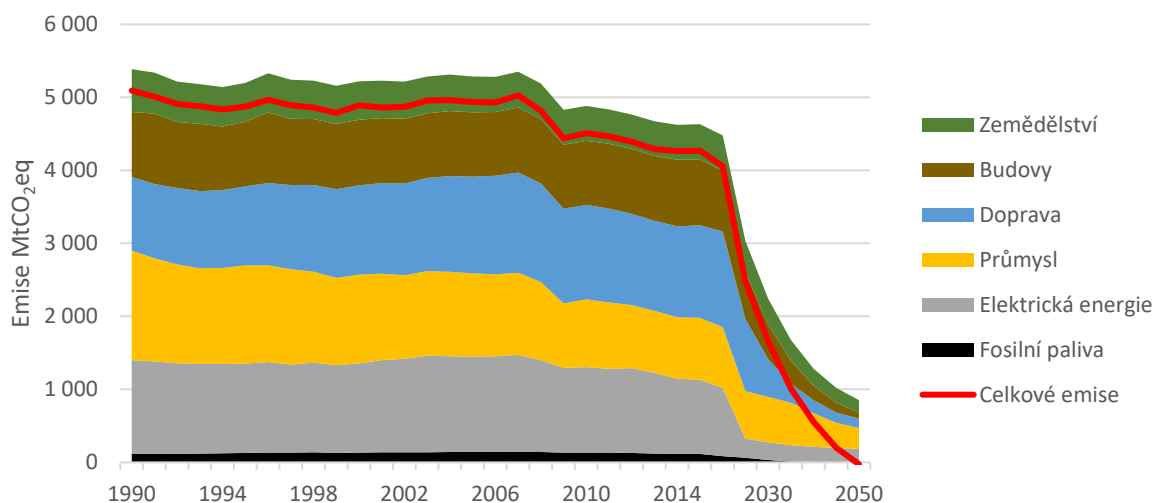
Podle zmíněného scénáře jsou roční přírůstky instalované kapacity větrných elektráren 459,7 MW a fotovoltaických 841,7 MW. Také je nutné zvýšení výroby elektřiny ze zemního plynu ročně o 4,7 TWh [55].

2.4 Změny do roku 2050

Dosažení klimatické neutrality do roku 2050 je pro celou EU velkou výzvou. V kontextu změny v souladu se Zelenou dohodou budou nutné ambiciózní systémové změny napříč všemi sektory evropské ekonomiky, nebo i společnosti. Kromě toho bude pro uhlíkovou neutralitu nutná negativní bilance uhlíku v některých činnostech, např. využití půdy a lesnictví, nebo obnovování biodiverzity, aby se vyvážily zbývající emise z jiných odvětví.

2.4.1 Emise skleníkových plynů

Na obr. 2.7 je zobrazen vývoj emisí v jednotlivých odvětvích v EU od roku 1990 do roku 2050. Vyznačeny jsou také celkové emise, které jsou výsledkem po odečtení pohlcených emisí, například v sektoru využití půdy, změny využití půdy a lesnictví (LULUCF), nebo ukládáním uhlíku (CCS). Dále jsou emise podle sektoru v roce 2050 shrnuty v následující tabulce 19.



Obr. 2.7 Emise skleníkových plynů v EU do roku 2050, vlastní úprava z [47]

Tabulka 19 Emise EU v roce 2050 dle sektoru [47]

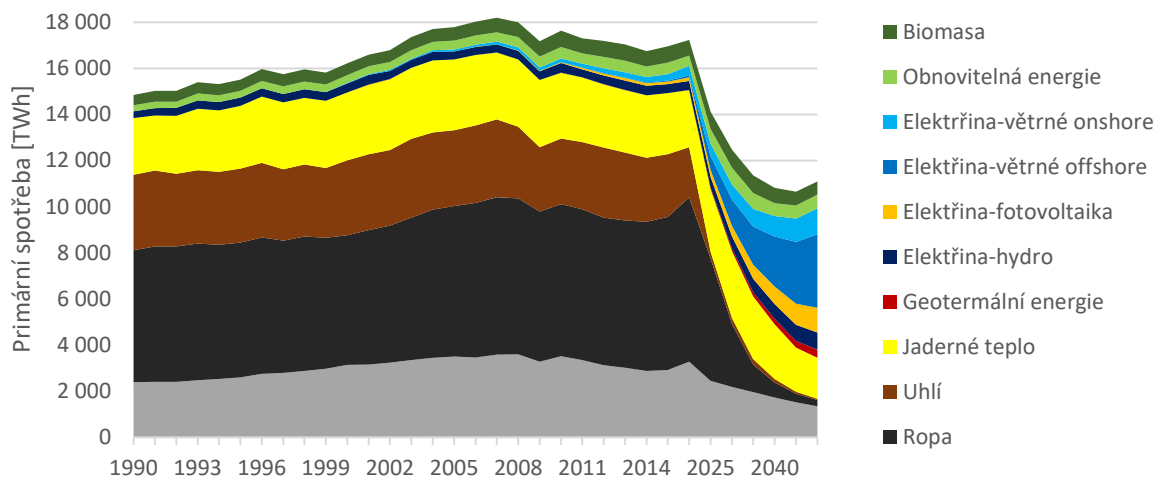
Sektor	MtCO ₂ eq
Výroba elektrické energie	182
Doprava	128
Ostatní fosilní paliva	2
Budovy	81
Průmysl	288
Využití půdy, lesnictví	-632
Zemědělství	172
Zachycený biogenní CO ₂	-155
Biodiverzita	-90
Celkem	-24

Emise z výroby elektrické energie jsou tvořeny spalováním zemního plynu, s využíváním uhlí přímo v elektrárnách se v roce 2050 již nepočítá. Převážná většina emisí je z výroby elektrické energie v plynových elektrárnách, přibližně 5 % z kogenerace elektrické energie a tepla. Emise v dopravě budou pocházet především z letecké dopravy a emise průmyslu hlavně z výroby oceli a cementu. Pohlcování emisí v sektoru LULUCF má dosáhnout 632 MtCO₂eq, což mimo jiné změny ve využívání půdy, znamená rozšíření povrchu lesů v EU na 238 milionů hektarů, neboli o přibližně 50 % vzhledem k roku 2020 [47]. Emise biogenního CO₂ pocházejí z biologických zdrojů jako jsou například rostliny, půda, nebo obecně biomasa a jsou součástí uhlíkového cyklu v přírodě. V roce 2050 má zachycování biogenního CO₂ dosáhnout hodnoty 155 MtCO₂eq. V současnosti jsou zachyceny 2 Mt biogenního CO₂, a to především ve výrobě bioetanolu [63]. Některé členské státy EU budou mít čisté emise negativní, jiné, jako tomu tak bude v případě České republiky mírně kladné. U ČR je podle modelu EUCalc nutné emise CO₂eq snížit z přibližně 114 MtCO₂eq na 4 MtCO₂eq [19, 47].

Ve vlastním scénáři pro uhlíkovou neutralitu jsou v roce 2050 veškerá fosilní paliva nahrazena obnovitelnými zdroji, zeleným vodíkem, nebo elektrickou energií, která bude taktéž vyráběna bezemisními zdroji. Vzhledem k tomu, že i v současné době sektor lesnictví a využití půdy v České republice emise nepohlcuje a je jejich zdrojem, tak s pohlčováním emisí není počítáno [64].

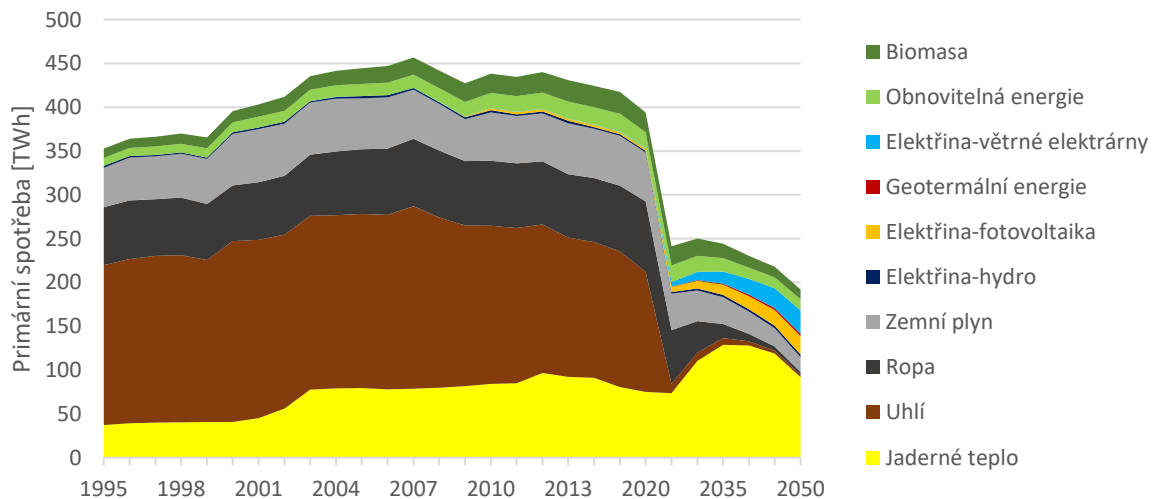
2.4.2 Spotřeba energie Scénář EUCalc

V energetice EU se počítá s odklonem od uhlí ve většině členských zemí do roku 2030. Poslední uhelné elektrárny ovšem budou krátce pracovat i po tomto datu. Jaderná energie bude na přibližně třech čtvrtinách kapacity oproti roku 2020, což znamená prodloužení životnosti některých stávajících a zároveň spuštění plánovaných elektráren. Celkový instalovaný výkon větrných elektráren přesahuje 2 000 GW a většina bude instalována na moři. Fotovoltaika bude přesahovat 1 000 GW a vodní elektrárny spolu s geotermálními 300 GW [47]. Na obrázku 2.8 lze pozorovat změnu ve využívaných zdrojích energie, ale také výrazný pokles v množství spotřebované energie. Masivní odklon od uhlí a ropy bude nahrazován obnovitelnými zdroji, z největší části energií z offshore větrných elektráren a fotovoltaikou. S odklonem od fosilních paliv mají také pomoci opatření zvyšující energetickou účinnost, nebo snižující spotřebu energie.



Obr. 2.8 Vývoj primární spotřeby energie v EU do roku 2050 podle EUCalc, vlastní úprava z [47]

Graf na obr. 2.9 níže zobrazuje vývoj primární spotřeby energie v ČR mezi lety 1995 až 2050. Díky scénářem předpovídanému vyřazení uhlí z energetického mixu lze pozorovat strmý pokles primární spotřeby energie mezi lety 2025 a 2030. V roce 2050 je podle EUCalc scénáře česká spotřeba primární energie rovna 191 TWh a skládá se hlavně z energie jádra doplněné o mix obnovitelných zdrojů. Zemní plyn tvoří 17 TWh a zbylá fosilní paliva 6 TWh [47].



Obr. 2.9 Vývoj primární spotřeby energie v ČR do roku 2050 podle EUCalc, vlastní úprava z [47]

Scénář EUCalc počítá s velmi razantním poklesem spotřeby. Například v sektoru budov má klesnout spotřeba energie na třetinu vzhledem k roku 2020 a to na cca 39 TWh. Model počítá v České republice s velmi intenzivní proměnou budov, a to jak intenzivními renovacemi, tak demolicí starých, energeticky náročných budov a jejich náhrada novými, které budou daleko úspornější. Čekem by mělo být do roku 2050 zdemolováno 245 miliónů m² podlahové plochy nevyhovujících budov a vystavěno 85 miliónů m² nových budov v pasivním standardu [47].

Dle odhadů Českého statistického úřadu je v ČR přibližně 1 200 milionů m² užité plochy obytných a komerčních budov [66]. Renovace, zateplování a další úsporná opatření by se měla do roku 2050 dotknout téměř všech budov. Na vytápění by mělo připadat v roce 2050 celkem 15 TWh, z čehož 7,5 TWh by mělo být zajištěno z tepla prostředí pomocí tepelných čerpadel [47].

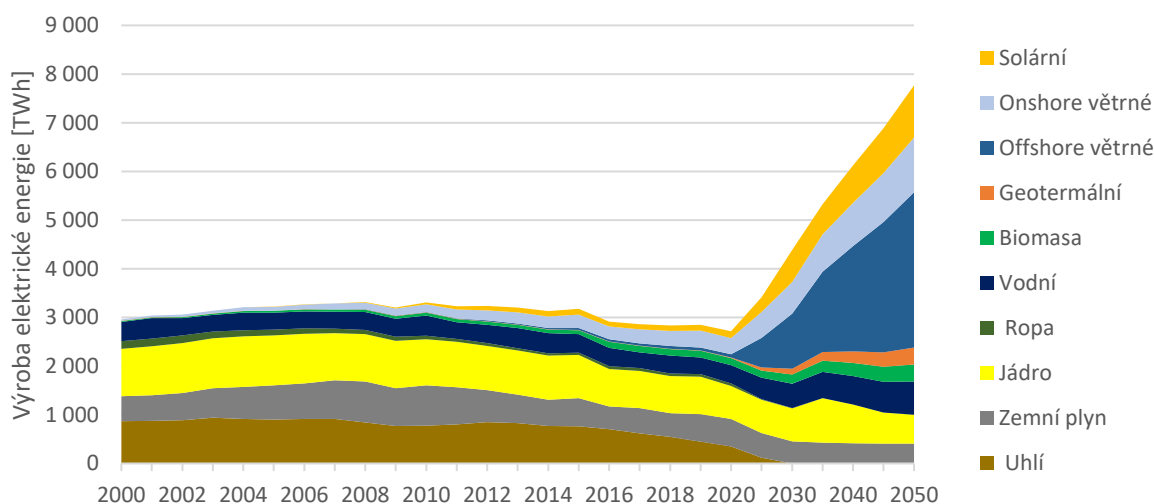
Vlastní scénář pro ČR

Ve vlastním scénáři pro klimatickou neutralitu ČR pro rok 2050 bude snížení konečné spotřeby energie představovat přibližně 34 %. To je způsobeno dvěma faktory. Prvním je zvýšení účinnosti u využívaných zařízení, například elektromotor, u kterého je počítáno s účinností 95 % oproti spalovacímu motoru, kde je počítáno s 35 % účinností, nebo náhrada kotlů na fosilní paliva tepelnými čerpadly. Druhým faktorem jsou renovace a další energetické úspory u sektoru budov. Budovy v ČR ještě zdaleka nevyčerpaly renovační potenciál, například na pětina bytů ještě neproběhly žádné tepelně izolační úpravy [67]. Úspory energie v sektoru budov jsou ve vlastním scénáři odhadnuty na 20 % oproti roku 2020.

2.4.3 Instalovaná kapacita

Scénář EU Calc

Celková výroba elektrické energie v EU má pro rok 2050 překročit 7 700 TWh, což je více než dvojnásobek oproti plánům na rok 2030 a o necelých 5 000 TWh více než 2 781 TWh v roce 2020 [47]. Nejvíce elektrické energie by měly vyrábět offshore větrné elektrárny s hodnotou 3 189 TWh, následované onshore větrnými elektrárnami s 1 125 TWh a fotovoltaikou s 1 073 TWh. Co se týká konvenčních zdrojů energie, tak plynové elektrárny vyrobí 409 TWh, pokles z 560 TWh v roce 2020 a vodní elektrárny 681 TWh. Vývoj výroby elektrické energie podle zdroje je shrnut na obr. 2.10. Do energie vyrobené vodními elektrárnami je započtena i energie mořských proudů a vln s jejímž využitím je také v malé míře počítáno. Tento scénář je extrémně ambiciózní, co se týká využití energie větru a obecně obnovitelných energií v EU.



Obr. 2.10 Vývoj výroby elektrické energie podle zdroje v EU do roku 2050, vlastní úprava z [48]

S pomocí koeficientu využití a teoretického maxima lze podle výše zmíněného vztahu (2.2) odhadnout potřebnou instalovanou kapacitu [45]. V následující tabulce 20 jsou shrnuty potřebné instalované kapacity nových obnovitelných zdrojů v roce 2050.

Tabulka 20 Instalované kapacity obnovitelných zdrojů EU v roce 2050, vlastní zpracování z [45, 47]

Instalovaná kapacita obnovitelných zdrojů v EU	GW
Větrné elektrárny offshore	1 517
Větrné elektrárny onshore	535
Celkem větrné elektrárny	2 052
Fotovoltaické elektrárny	1 113
Vodní elektrárny	288
Geotermální elektrárny	44

Potenciál geotermálních elektráren pro rok 2050 je odhadován na 4-7 % celkové výroby elektrické energie [68], což odpovídá vyrobeným 350 TWh podle modelu EUCalc [47]. Geotermální elektrárny mají pokrývat základní zatížení a jejich koeficient využití je roven 0,9 [68]. V současné době mají geotermální elektrárny v celé EU instalovanou kapacitu 2,96 GW. Vodním zdrojům má patřit 288 GW instalované kapacity a jejich výroba je modelem předpovídána na 681 TWh [47].

V případě České republiky je instalovaná kapacita obnovitelných zdrojů shrnuta v tabulce 21. Celková výroba elektřiny v ČR je odhadována pro rok 2050 na 95,8 TWh, což je přibližně 20 % nárůst oproti 79,4 TWh v roce 2020 [43, 47]. Obnovitelné zdroje se budou podílet na výrobě z 64 %, jádro ze 32 % a zbylé 4 % budou patřit zemnímu plynu [47]. Model předpovídá poměrně rovnoměrně rozvoj mezi větrnými a fotovoltaickými elektrárnami v poměru výroby slunce, vítr 1:1,3. Další přírůstek oproti roku 2030 je zaznamenán i pro geotermální elektrárny a elektrárny na biomasu a bioplyn. Naopak vodní elektrárny budou podle modelu vyrábět menší množství energie, než v roce 2020 a jaderné zůstávají na přibližně stejné hodnotě [47].

Tabulka 21 Instalované kapacity zdrojů elektrické energie ČR v roce 2050 scénář EUCalc vlastní úprava z [45, 47]

Instalovaná kapacita v ČR scénář EUCalc	MW
Větrné elektrárny	13102
Fotovoltaické elektrárny	19083
Vodní elektrárny	966,4
Geotermální elektrárny	366
Biomasa a bioplyn	2439
Zemní plyn	1336
Jádro	4255

Vlastní scénář

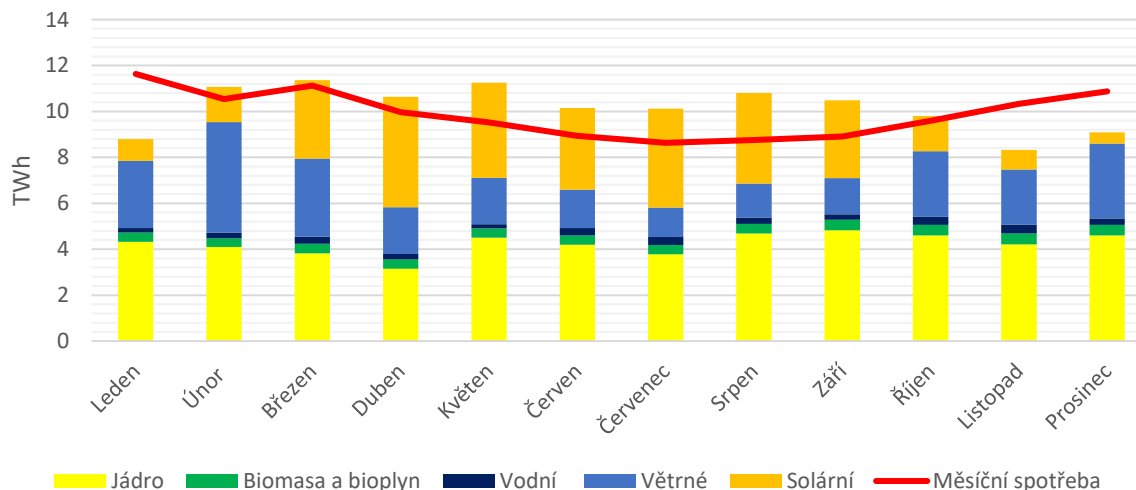
Podle výpočtů ve vlastním scénáři bude spotřeba elektrické energie v ČR v roce 2050 121,9 TWh. Jedná se o 54% nárůst oproti roku 2020 [43]. Celkem 71,2 TWh budou pokrývat obnovitelné zdroje a 50,8 TWh jaderné zdroje. Poměr výroby fotovoltaiky a větrných elektráren bude 1:0,9. V tomto scénáři je kladen důraz hlavně na rozvoj výroby jaderných, fotovoltaických a větrných elektráren. Potenciál vodních zdrojů je v ČR z velké míry již vyčerpán a výroba elektřiny z biomasy a bioplynu zůstává na stejné hodnotě jako v roce 2020 [52]. Biomasa a bioplyn, či biometan, budou více využívány přímo než na výrobu elektrické energie. Není zde počítáno s nástupem geotermálních elektráren, jako ve scénáři EUCalc. Instalovaná kapacita dle zdroje v ČR pro rok 2050 z vlastního scénáře je v tabulce 22 níže.

Tabulka 22 Instalované kapacity zdrojů elektrické energie ČR v roce 2050 vlastní scénář, vlastní zpracování z [43, 52]

Instalovaná kapacita v ČR vlastní scénář	MW
Větrné elektrárny	12 857
Fotovoltaické elektrárny	32 900
Vodní elektrárny	1 160
Biomasa a bioplyn	1 600
Jádro	7 050

2.4.4 Akumulace energie

Sezónnost výroby a spotřeby energie je určena pro vlastní scénář v roce 2050. Přestože se dle uvedeného scénáře výroba elektrické energie rovná hypotetické spotřebě, díky proměnlivosti výroby a spotřeby v průběhu roku budou muset být případné nedostatky, nebo přebytky kryty dovozem a akumulací. V grafu na obr. 2.11 je zobrazena vypočtená hypotetická výroba elektřiny v roce 2050 a křivka měsíční spotřeby. Výroba dle zdroje je rozdělena do měsíců podle historických průměrů, křivka měsíční spotřeby je průměrem z let 2015 až 2020 [69]. Nevětší rozdíl mezi spotřebou a výrobou je v zimních měsících, ve kterých sice více vyrábí větrné elektrárny, ale zato solární vyrábí i desetkrát méně než v létě. Obecně lze říct, že solární elektrárny vyrábí nejvíce na jaře a v létě a větrné na podzim a v zimě [52]. Aby se tyto zdroje doplňovaly, ideální poměr výroby v ČR by byl 3:1 ve prospěch větru [52]. V průběhu roku ovšem existují i dny, ve kterých lze větrnou, nebo solární energii vyrábět jen málo energie. Z němčiny se toto období nazývá *Dunkelflaute* a typicky se jedná o zimní dny s inverzí. Na grafu lze pozorovat potřeba sezónní akumulace energie, kdy například v zimních měsících od listopadu do ledna chybí 6,6 TWh, a naopak od května do září 8 TWh přebývá. Znamenalo by to buď energii v zimních měsících importovat z jiných částí Evropy, kde by v této době byl nadbytek, nabízí se například offshorové větrné parky u baltského a severního moře, nebo využít některé formy sezónní akumulace energie.



Obr. 2.11 Hypotetická výroba a spotřeba elektřiny ČR v roce 2050, vlastní zpracování z [53, 70]

Na úrovni celé EU je roční potřeba vyvažování flexibility energetické soustavy různými technologiemi skladování jedním z výstupů z modelu EUCalc. Celkem by bylo potřeba přenést z léta do zimy necelých 1 300 TWh elektrické energie. S dalšími 410 TWh je počítáno pro krátkodobější vyvažování [47]. Model počítá s využitím technologií, které se zatím v současné

době nenachází ve fázi technologické vyspělosti, jako například ukládání energie do stlačeného vzduchu (CAES), nebo výrobu syntetických paliv (P2X) [47, 106].

2.5 Shrnutí potřeb nových zdrojů energie

Scénář EUCalc

Nová potřebná instalovaná kapacita obnovitelných zdrojů pro celou EU je shrnuta v následující tabulce 23 pro jednotlivé cílové roky 2030 a 2050.

Tabulka 23 Nová instalovaná kapacita v EU pro cílové roky 2030 a 2050 scénář EUCalc, vlastní zpracování z [47]

Nová instalovaná kapacita EU	2020-2030 [GW]	2030-2050 [GW]
Větrné zdroje	472	1 363
Vodní zdroje	2	158
Solární fotovoltaické zdroje	536	425
Zdroje na biomasu	20,4	48
Geotermální zdroje	-	41,4

Z nové potřebné instalované kapacity jsou dále vypočtena tempa nových instalací, která jsou včetně uvažované životnosti, jenž je u větrných turbín 20 let a u fotovoltaiky 25 let a je počítána od roku 2012. Roční průměrná tempa instalace nových obnovitelných zdrojů na časové období od 2020 do 2050 potom vychází následovně [47]:

Větrné elektrárny

- Období do roku 2030: **54,9 GW/rok**
- Dále do roku 2050: **99,6 GW/rok**
- Nejrychlejší tempo mezi 2020 a 2050: **123,1 GW/rok**

Fotovoltaické zdroje

- Období do roku 2030: **58,2 GW/rok**
- Dále do roku 2050: **37,8 GW/rok**
- Nejrychlejší tempo mezi 2020 a 2050: **79,5 GW/rok**

Z ostatních zdrojů by v průměru mělo ročně přibývat 8 GW vodních zdrojů, 2,4 GW zdrojů na biomasu a 2 GW geotermálních zdrojů [47].

Podle zprávy *100 % Renewable Europe* [91] by mělo být na území EU instalováno v roce 2050 minimálně 7 700 GW fotovoltaických elektráren a 1 700 GW ve větrných elektrárnách. Znamenalo by to přidat v průměru ročně 252 GW ve fotovoltaice a 49 GW ročně ve větrných elektrárnách [91]. Potřebné roční tempo instalací fotovoltaiky vycházející z této zprávy je tedy více než třikrát vyšší než tempo určené pomocí modelu EUCalc. U větrných elektráren je tempo naopak mírně nižší.

Nová kapacita pro Českou republiku je zobrazena v tabulce 24. Průměrné roční potřebné tempo instalace nových zdrojů je mezi lety 2020 až 2050 po započítání stejné životnosti jako v případě EU uvedeno níže. Potřeba tepla prostředí pro využití v sektoru budov je dle modelu odhadována na 7,5 TWh, což je přibližně 500 tis. tepelných čerpadel, jejichž uvažovaná životnost je počítána na 15 let [47, 70].

Fotovoltaické zdroje

- **644,2 MW/rok**

Větrné elektrárny

- 542,9 MW/rok

Tepelná čerpadla

- 36 tis. ks/rok

Pro uvedení do kontextu, za léta 2012 až 2022 bylo v ČR zprovozněno 123 MW ve větrných elektrárnách, 613,7 MW ve fotovoltaice a uvedeno do provozu necelých 200 tis. tepelných čerpadel. [47, 70].

Tabulka 24 Nová instalovaná kapacita v ČR pro cílové roky 2030 a 2050 scénář EUCalc, vlastní zpracování z [47]

Nová instalovaná kapacita ČR	2020-2030 [MW]	2030-2050 [MW]
Větrné zdroje	4 248,2	8 514,3
Fotovoltaické zdroje	5 840,8	11 159,9
Vodní zdroje	-	237,8
Biomasa a bioplyn	-	1 032,4
Geotermální zdroje	121,8	243,5
Jaderné zdroje	970,11	-

Vlastní scénář

Ve vlastním scénáři je z obnovitelných zdrojů kladen větší důraz na fotovoltaiku, a to hlavně z důvodu její rychlejší instalace. Průměrné roční tempo nových instalací mezi lety 2020 a 2050 je 1 145,7 MW ve fotovoltaice a 535,5 MW ve větrných elektrárnách. Také je počítáno se zprovozněním celkem 47 MW v menších vodních zdrojích a 2 760 MW nových jaderných reaktorů [52]. Nové instalace jsou shrnuty v tabulce 25.

Tabulka 25 Nová instalovaná kapacita v ČR pro cílové roky 2030 a 2050 vlastní scénář, vlastní zpracování z [43]

Nová instalovaná kapacita ČR	2020-2030 [MW]	2030-2050 [MW]
Větrné zdroje	4 596,8	7 920,9
Fotovoltaické zdroje	8 416,6	2 2400
Vodní zdroje	47	-
Jaderné zdroje	-	2 760

Dále vzniká nahrazením fosilních paliv v sektorech budov, dopravy a průmyslu potřeba jiných obnovitelných paliv, především pevných biopaliv a biometanu. Konkrétně v sektoru budov bude oproti roku 2020 v roce 2050 spotřebováno o 3 550 GWh více v pevných biopalivech. V roce 2020 bylo dle odhadu Ministerstva průmyslu a obchodu spotřebováno 235 tisíc dřevěných briket a pelet a 11 519 845 PRMR (prostorový metr rovnáný) palivového dřeva [71]. Co se týká účinnosti, tak pro výpočet je uvažováno, že využití pevných biopaliv je o 5 % méně účinné než využívání nahrazovaných fosilních paliv. Při použití průměrné výhřevnosti pevných biopaliv 13,5 GJ/t vychází nárůst spotřeby pevných biopaliv v roce 2050 oproti roku 2020 na 17 %. Zvýšení není až tak značné, vzhledem k tomu, že jen za posledních deset, od roku 2012, vzrostlo využití pevných biopaliv v domácnostech o čtvrtinu [71]. Toto zvýšení lze pravděpodobně připsat kůrovcové kalamitě a s ní spojený pokles cen palivového dřeva. Na sníženou spotřebu energie pro budovy mají vliv i plánované renovace a zvyšování energetických úspor v tomto sektoru.

Potřeba biometanu ve všech zmíněných sektorech vychází dle scénáře na cca 21 106 GWh. Dosavadní výroba biometanu v ČR je 12 GWh, roční přírůstek ve výrobě biometanu pro dosažení potřebné kapacity v roce 2050 tedy činí 704 GWh. Biometan má v průměru mírně menší výhřevnost oproti zemnímu plynu, který kromě methanu obsahuje i malé množství vyšších uhlovodíků., ale jinak jsou oba plyny svými vlastnostmi zaměnitelné [72]. Úprava bioplynu na biometan má, například pomocí nanomembránové separace molekul, velmi vysokou účinnost, a to až 99,5 %. Technologické ztráty jsou minimální, a proto téměř celá primární energie bioplynu zůstává i v biometanu [72].

V souvislosti s nahrazováním fosilních paliv pro potřeby vytápění budov je ve scénáři počítáno s růstem využití tepla prostředí pomocí tepelných čerpadel. V roce 2020 se teplo prostředí na konečné spotřebě podílelo z 2 447 GWh z čehož převážná většina, přes 99 %, byla v sektoru budov [43]. Pro rok 2050 bude nutné přidat dalších alespoň 16 300 GWh, což znamená významný růst využití tepelných čerpadel. Pro využití v centrálním zásobování teplem je vypočtena potřeba tepla prostředí na dalších 11 000 GWh [43]. Počet tepelných čerpadel pro vytápění budov je pro rok 2050 odhadován na 1,9 až 2 miliony kusů [70]. Ročně by to znamenalo instalovat cca 68 tis. tepelných čerpadel, poté přibližně od roku 2040 dále, při započítání životnosti TČ 15 let, by muselo být ročně instalováno až 130-150 tis. tepelných čerpadel. Shrnutí potřebných průměrných nových instalací pro dekarbonizaci ČR dle vlastního scénáře je následující.

Fotovoltaické zdroje

- **1 145,7 MW/rok**

Větrné elektrárny

- **535,5 MW/rok**

Tepelná čerpadla

- **106 tis. ks/rok**

Biometan

- **704 GWh/rok**

3 Hodnocení stavu výrobních a realizačních kapacit

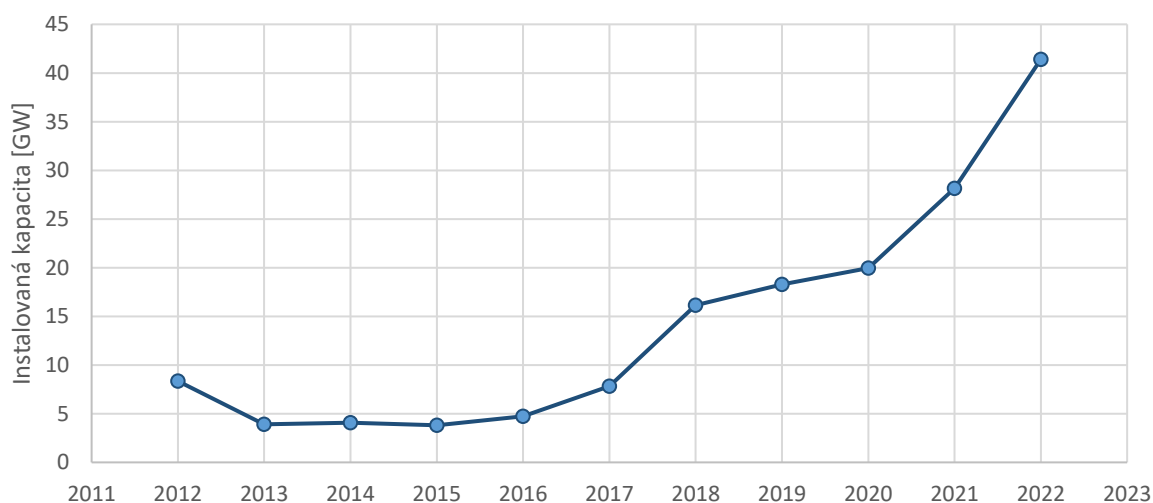
Jak bylo představeno v předchozí kapitole, rychlost zprovoznování nových obnovitelných kapacit energie musí být pro úspěšné splnění cílů dekarbonizačních plánů zvýšena. Aby bylo cílů dosaženo, musí se odpovídajícím způsobem zvýšit i produkční a realizační kapacity. Takto rychlý přechod energetiky k bezemisní neznamena jen masivní rozšíření produkčních kapacit, ale také celého dodavatelského řetězce od výzkumu a vývoje až po kvalifikovanou pracovní sílu.

3.1 Výrobní a realizační kapacity na úrovni EU

Podle nejnovějších dostupných dat z roku 2022 EU postupně zrychluje instalace v oblasti obnovitelných zdrojů, kdy nejrychlejší je rozvoj ve fotovoltaice. Jen v posledních letech 2021 a 2022 zrychloval každoročně skoro o polovinu, tedy o 42 % a 47 % [62]. Co se týká větrné energie, zde je tempo nových instalací pomalejší. Nové instalace jsou bržděny nevýhodným ekonomickým prostředím a problémy spojenými s dodavatelským řetězcem a povolováním [65].

3.1.1 Fotovoltaika

Na obr. 3.1 je zobrazen vývoj ročních instalací fotovoltaických elektráren v EU. V roce 2021 by překonán rekord v instalovaném výkonu s 28 GW a následující rok 2022 byl také rekordní s 41,4 GW instalované fotovoltaiky [62].



Obr. 3.1 Roční instalovaná kapacita fotovoltaiky v EU, vlastní úprava z [62]

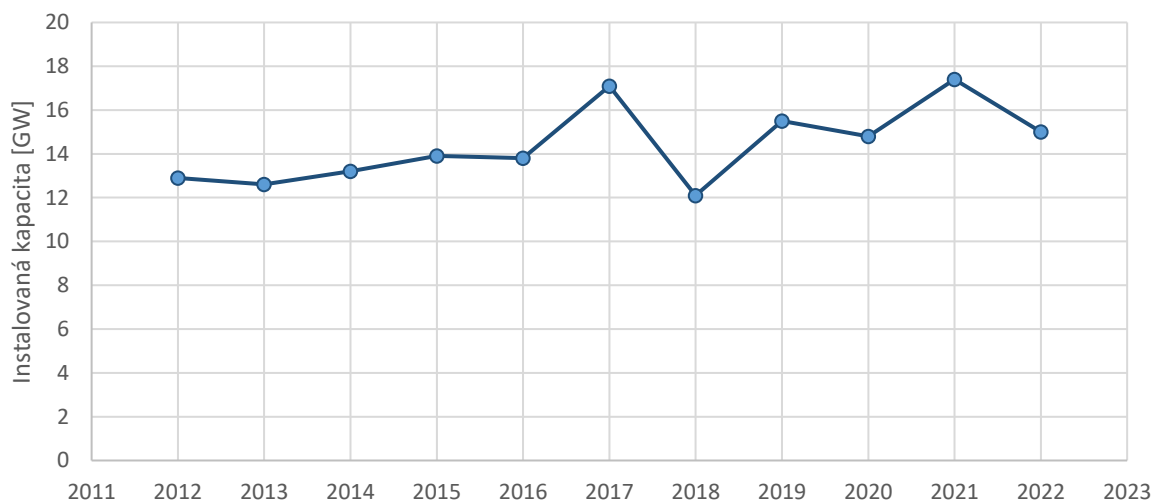
Výrobní kapacity pro fotovoltaiku jsou umístěny téměř výhradě v Asii. V EU vyrábí už jen omezený počet výrobců, jako například německý SolarWorld, francouzský Photowatt, nebo holandský Victron [73]. Jen podíl Číny na všech fázích globální výroby solárních panelů, jako jsou polysilikon, ingoty, wafery, články a moduly, v současné době přesahuje 80 % [73]. Kapacita výroby v EU je v roce 2022 přibližně 4,5 GW ročně [62]. I přes plány výrobu navyšovat až na 30 GW v roce 2025 a snižovat závislost na dovážených solárních panelech, bude muset být převážná většina solárních panelů pro energetický přechod vyrobena v zahraničí a do EU dovezena. Co se týká globální dodávky fotovoltaických panelů, výrobní kapacity v současné době převyšují poptávku. V roce 2022 vzrostla výrobní kapacita Číny na 400 až 600 GW ročně [74].

Instalační kapacity jsou na celounijní úrovni odhadovány na 50 až 85 GW ročně [62]. Největším problémem a úzkým hrdlem pro rychlejší rozvoj instalací fotovoltaiky v EU je

nedostatek pracovní síly, která by nové solární panely instalovala a také připojovala do sítě [62]. Jen v Německu chybí v oblasti solární a větrné energetiky přes 200 tis. kvalifikovaných pracovníků [75]. Tento problém je v plánu řešit jak dodatečnou rekvalifikací lidí z jiných oborů, podporou ve školském systému, nebo využitím pracovní síly původem mimo EU. Potřeba kvalifikovaných pracovníků v solárním odvětví je jiná než u větrné energie. Pro instalace fotovoltaiky je potřeba většího množství méně kvalifikované práce než u instalací větrných elektráren, kde je potřeba menší počet více kvalifikovaných pracovníků [62].

3.1.2 Větrná energie

Na obr. 3.2 jsou zobrazeny roční instalace větrných elektráren na celounijní úrovni. Roční instalace se pohybují kolem 15 GW a svého maxima zatím dosáhly v roce 2021 s 17,4 GW [65]. Trend nárůstu je pomalejší než v případě fotovoltaiky.



Obr. 3.2 Roční instalovaná kapacita větrných elektráren v EU, vlastní úprava z [65]

Celosvětově bylo instalováno za rok 2020 93 GW ve větrných elektrárnách, ovšem přes polovina těchto instalací byla v Číně a dalších 18 % v USA. Co se týká objednávek nové kapacity, tak v roce 2022 bylo globálně registrováno 135 GW, ze kterých je 70 % v Číně. Právě čínské společnosti jako jsou Goldwind, Envision, nebo Mingyang jsou zodpovědné za globální nárůst objednávek kapacity a tento růst víceméně i zamaskoval zpomalení ze strany západních výrobců, které bylo ovlivněno problémy v dodavatelském řetězci a růstem nákladů [76]. Podle Evropské asociace pro větrnou energii jsou největší výrobci větrných turbín z hlediska tržního podílu v Evropě Siemens Gamesa (23,7 %), Vestas (21,9 %), Nordex (10,3 %) a Enercon (9,5 %) [65]. Výrobců a dodavatelů větrných turbín je v Evropě celá řada, nicméně produkční kapacity budou hodnoceny jen u výše zmíněných, vzhledem k tomu že zmíněné společnosti zabírají více než dvě třetiny tržního podílu.

Největším světovým výrobcem větrných turbín je dánský Vestas, jehož větrné turbíny se vyrábí a montují po celém světě. Roční celosvětová kapacita vyrobených a dodaných větrných turbín se v roce 2020 zvýšila na 17,1 GW z 12,6 GW v roce 2019. Většina z vyrobených a dodaných větrných turbín byly na 4 MW platformě. V Evropě bylo ze zmíněných 17,1 GW instalováno 4,4 GW, a to odpovídá přibližně 1100 větrných elektráren [78]. Siemens Gamesa v roce 2020 dodal celosvětově 10,2 GW větrných turbín. O rok dříve v roce 2019 to bylo 9,3 GW a v Evropě se jednalo o 4,9 GW [77]. Společnost Nordex má v porovnání s výše zmíněnými výrobci menší produkční kapacity, celosvětově v roce 2020 podle výroční zprávy dodala větrné turbíny o kapacitě 6,75 GW, o rok dříve to bylo 3,09 GW. Nejčastěji byly

instalovány turbíny o výkonech 4 MW jak pro onshore, tak pro offshore aplikace. V Evropě Nordex nainstaloval 1,6 GW kapacity větrných turbín [79]. Nakonec společnost Enercon za rok 2020 celosvětově nainstalovala 2 GW, v Evropě to bylo 1,4 GW [80].

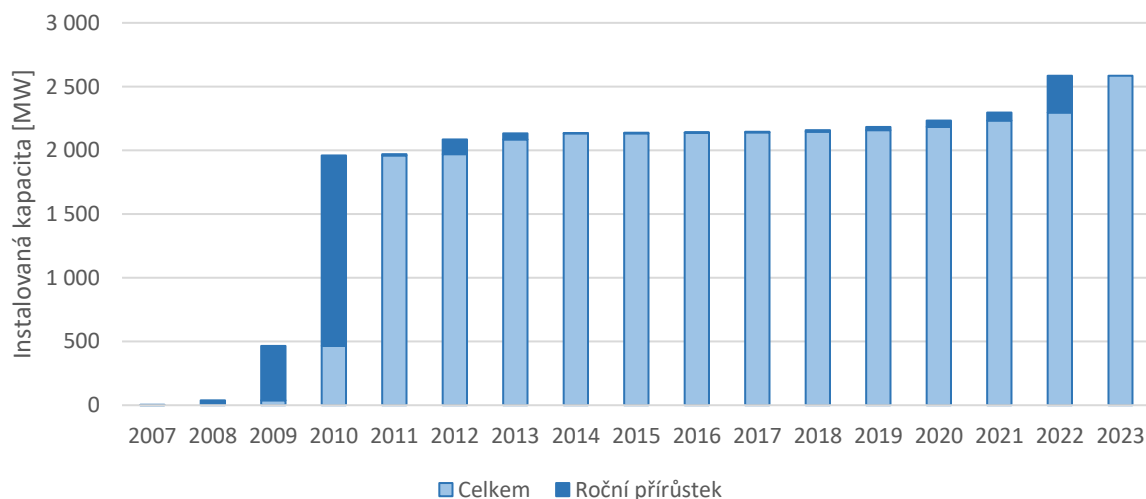
Odhadovaná kapacita nových instalací činí v EU pro rok 2023 necelých 20 GW [65]. V EU je zaměstnáno v odvětví větrné energetiky přibližně 300 tis. lidí a komponenty jsou vyráběny asi ve 250 továrnách [65]. Pro zprovoznování nových instalací na moři je zapotřebí také speciálních lodí, které jsou schopny instalovat a udržovat offshore elektrárny. V současné době existuje globálně přibližně 137 lodí (100 v Evropě) specializovaných na instalace základů a různých dalších komponent na moři a dalších 16 takovýchto lodí je ve výstavbě [81]. Dále také pouze zlomek ze současných lodí je schopen přepravovat velké větrné turbíny nových generací o výkonech vyšších než 8 MW. Celosvětově je při současném růstu offshore instalací předpovídán nedostatek lodí instalujících offshore větrné elektrárny na rok 2024 [81].

3.2 Výrobní a realizační kapacity v ČR

Pro hodnocení výrobních a realizačních kapacit v České republice bylo také využíváno rozhovorů s organizacemi, které se zabývají obnovitelnými zdroji energie. Jmenovitě se jednalo například o Solární asociaci, Českou společnost pro větrnou energii, Asociaci pro využití tepelných čerpadel, nebo provozovatele distribuční sítě elektřiny EG.D.

3.2.1 Fotovoltaika

Na grafu na obr. 3.3 níže je zobrazen vývoj stavu instalované kapacity fotovoltaiky v ČR k roku 2023. Největších přírůstků v instalovaném výkonu bylo dosaženo v letech 2009 a 2010 kdy byly díky štědré podpoře instalovány větší pozemní solární elektrárny [71]. Po ukončení těchto dotačních programů instalovaný výkon fotovoltaiky v Česku stagnoval až do posledních let. Oproti rozmachu kolem roku 2010 současné nové instalace tvoří především menší střešní fotovoltaické elektrárny.



Obr. 3.3 Vývoj instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren v ČR spolu s ročními přírůstky, vlastní úprava z [71]

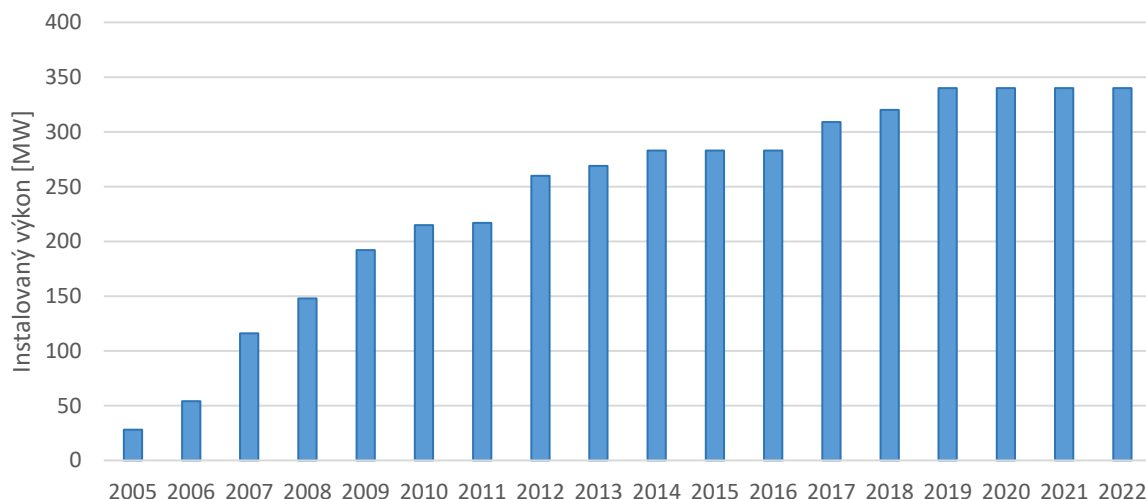
V roce 2021 bylo připojeno do sítě 62 MW nových solárních elektráren. Celkem se jednalo o 9321 solárních elektráren o průměrné velikosti 6,7 kWp [83]. Z tohoto počtu bylo 67 % domácích střešních elektráren pro rodinné domy [82]. V roce 2022 již bylo instalováno 289 MW nových solárních elektráren [82]. Celkem 237 MW představovaly malé zdroje na rodinných domech. Zajímavostí je, že 87 % těchto instalací zahrnovalo baterie pro ukládání elektřiny [82]. Česká republika je v porovnání se zbytkem EU na poli fotovoltaiky poměrně

malým trhem. Například v sousedním Polsku bylo za rok 2022 instalováno 5 GW, což je z EU třetí nejvyšší hodnota hned za Španělskem (7,5 GW) a Německem (7,9 GW) [62]. Co se týká výrobních a realizačních kapacit v ČR, tak výroba momentálně ve velkém měřítku nefunguje. V minulosti zde působilo několik výrobců solárních panelů, jako například Solartec, nicméně dnes je převážná většina panelů do ČR dovezena z Číny, Německa, nebo Nizozemska. Celkem bylo v roce 2020 dovezeno 626 tis. solárních panelů a dováženy jsou také ostatní komponenty a příslušenství jako jsou například inventory [82]. Zde je kapacita výroby vysoká a není problém nakoupit větší kapacitu.

Z pohledu realizace výstavby fotovoltaických elektráren, mnoho menších stavebních firem v současné době začíná s malou fotovoltaikou, jelikož instalace nejsou až tak náročné. Dále jsou do ČR zvány realizační firmy například z Polska, kde je trh více rozvinutý, a navíc není mezi oběma národy až tak výrazná jazyková bariéra. U fotovoltaiky záleží z velké míry na velikosti, jelikož například jedna 20 MW elektrárna se staví daleko rychleji, než 200 malých na střeších rodinných domů. Hlavním problémem realizace nové fotovoltaiky v ČR není ani tak nedostatek lidí, ale spíše nedostatek materiálu a přípojných kapacit. Úzké hrdlo realizace nových projektů ve fotovoltaice je pomalý povolovací proces, přetíženost sítí, jejich nízká kapacita a pomalé připojování nových elektráren. Pomalý povolovací proces je vlastně jeden z hlavních důvodů, proč jsou v poslední době instalovány hlavně malé domácí fotovoltaické elektrárny, kterých je sice mnoho, ale dohromady dávají malý výkon. Pokud by neexistoval problém s povolováním instalací velkých střešních a pozemních fotovoltaických elektráren, tak je technický potenciál dle Solární asociace odhadován na 1 GWp ročně. U menších střešních projektů by se jednalo o cca 300–400 MW a pak 500-700 MW u velkých pozemních solárních elektráren.¹

3.2.2 Větrná energie

Na grafu na obr. 3.4 je zobrazen souhrn instalací větrných elektráren na území České republiky. Čistý roční průměrný přírůstek je od roku 2005 18,4 MW, nejvíce výkonu větrných elektráren přibýlo za rok 2007 a to 62 MW, ale v posledních letech počet nových instalací stagnuje a za poslední roky je nulový [54].



Obr. 3.4 Vývoj výkonu větrných elektráren v ČR mezi lety 2005 až 2022, vlastní úprava z [54]

¹ KRČMÁŘ, Jan, výkonný ředitel Solární asociace [ústní sdělení]. Praha, 15.3.2023

Technický potenciál větrné energie v Česku je odhadován dle studie Ústavu fyziky atmosféry AV ČR na 71 GWh za rok [54]. Nutno podotknout, že se jedná pouze o technický potenciál, a tedy není brán potaz na další faktory limitující realizovatelnost větrných elektráren. Těmito faktory mohou být místní technická omezení, souhlasy obyvatel obcí, přírodní parky, či oblasti Natura, nebo narušení krajinného rázu a místní kapacity sítě. V České republice bylo určeno necelých 13 tisíc míst, které by v Česku byly z hlediska požadované průměrné rychlosti větru a rentability vhodné pro instalace nových větrných elektráren [54]. V průměru trvá výstavba větrné elektrárny v České republice od myšlenky a záměru stavby 4,5 let, a to v případě, že stavba má podporu obyvatel v místě stavby. Nejdéle na přípravě trvá posouzení vlivu na životní prostředí (EIA) a to 24 měsíců. Vlastní přípravě projektu by mělo předcházet vlastní měření intenzity větru v dané lokalitě, a to podobu minimálně jednoho roku. Samotná stavební fáze je potom relativně krátká, ovšem v závislosti na velikosti projektu, na typu technologie a místě budovaného podzemního připojení se počítá na týdny až několik měsíců. Montáž jedné větrné elektrárny je pak otázkou 3-5 dní v závislosti na povětrnostních podmínkách. Po montáži obvykle následuje zkušební provoz a ladění nastavení větrné elektrárny o délce až půl roku [54].

Realizaci, tedy přípravu, výstavbu a provozní údržbu řeší pro instalace v ČR zahraniční dodavatel a pokud je třeba je pro tuto činnost vyškolen zaměstnanec z Česka. K datu 2015 bylo v ČR odhadováno, že větrné elektrárny přímo, či nepřímo poskytují 943 pracovních míst [83]. Celkem 20 míst bylo odhadováno v přípravě nových projektů, dále 294 zaměstnanců se staralo o provoz a údržbu stávajících větrných elektráren a výroba komponentů pro větrné elektrárny zaměstnávala 629 pracovníků [83].

Reálná hodnota maxima instalované kapacity v České republice je odhadována na maximálně 7 GW, a to hlavně z důvodu, že další větší využití větrné energie by bylo čím dál méně ekonomicky výhodné. Faktory jsou například větší vzájemné ovlivňování větrných elektráren, větší náklady na vyvedení výkonu, nebo snižování tržní hodnoty vyrobené elektřiny díky kanibalizaci výroby. Také současně další výstavba větrných elektráren by mohla způsobovat kontroverze ohledně ochrany přírody, nebo krajinného rázu. Limity přenosové sítě jsou spíše na lokální úrovni a jsou alespoň ve střednědobé perspektivě řešitelné. Největší problém s rozšiřováním kapacity větrné energie v ČR je politická vůle, nebo až nenávistný postoj obyvatel k výskytu větrných elektráren v krajině.²

3.2.3 Bioplyn a biometan

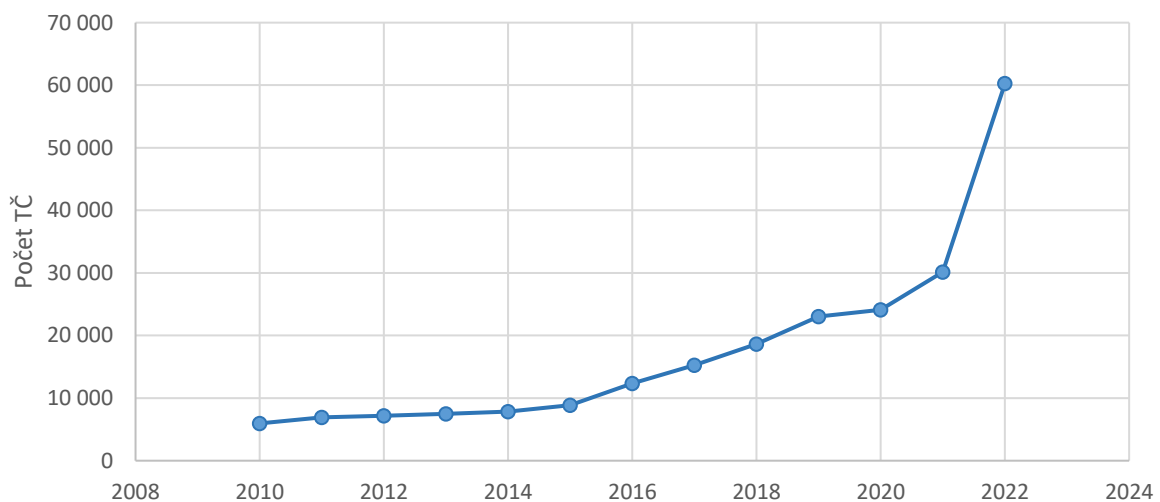
Biometan má v rámci běžných biopaliv nejnižší emise skleníkových plynů a zejména pokud je produkován z odpadní biomasy, tak i spotřebu energie ve svém životním cyklu. Lze navíc vyrábět bez závislosti na počasí kontinuálně, nebo snadno skladovat. V České republice k roku 2022 existuje 574 bioplynových stanic a zatím tři stanice produkující biometan [84]. Celková produkce bioplynu je odhadována na 7 TWh ročně a u biometanu činí produkce necelých 12 GWh [84]. Produkce biometanu v Česku postupně roste, jen za rok 2022 pokryl třetinu spotřeby CNG v dopravě [84]. Bioplyn je v současné době využíván výhradně k produkci elektrické a tepelné energie. V současné době trvá stavba jedné biometanové stanice v průměru 4 roky, dá se ovšem očekávat, že by pro výrobu biometanu byly upraveny i některé stávající bioplynové stanice a v tomto případě by konverze jedné takové stanice zabrala 2 až 3 roky [85, 86]. Na výrobu bioplynu v roce 2020 bylo použito přibližně 10 miliónů tun biomasy [71]. Přitom produkce bioodpadů v komunálním odpadu je cca 1,5 miliónů tun ročně, z čehož

² HANSLIAN, David, Odborný pracovník Ústav fyziky atmosféry AV ČR [ústní sdělení] Brno 25.3.2023

je stále 40–50 % skládkováno. Na výrobu bioplynu jsou používány vedlejší produkty zemědělské výroby, siláž, kejda, hnůj a také samozřejmě na zemědělské půdě pěstovaná biomasa, která v ČR zabírá asi 4 % celkové zemědělské půdy (130-180 tis. ha) [85]. Rozložení vstupních surovin je přibližně následující. 31 % představuje kukuřice ve formě siláže, dále 46 % kejda, hnůj a jiné odpady živočišné výroby a zbylých 26 % bioodpady, senáž a ostatní odpady rostlinné výroby [85]. Výhodou biometanu je, že není zapotřebí rozsáhlých investic do nové infrastruktury. Infrastruktura pro biometan je plně připravena, protože zemní plyn a biometan jsou svými vlastnostmi zaměnitelné [86]. V letech 2005 až 2014 byly v ČR vystaveny stovky bioplynových stanic díky investiční i provozní podpoře od státu. Se snížením, nebo zánikem této podpory se zastavil i intenzivní rozvoj instalací. Mezi těmito lety, tzn. za 9 let podpory, byla výroba bioplynu rozšířena o 5,3 TWh, což je 589 GWh za rok [71, 86].

3.2.4 Tepelná čerpadla

Na obr. 3.5 je zobrazen vývoj počtu nových instalací tepelných čerpadel mezi lety 2010 až 2022. Za rok 2022 byl nárůst v počtu instalovaných nových tepelných čerpadel více než dvojnásobný oproti předchozímu roku 2021 a celkově bylo v tomto roce v ČR instalováno 60 267 tepelných čerpadel [88]. Hlavním důvodem pro tento nárůst zájmu byl odklon od kotlů na zemní plyn u rodinných domů [88].



Obr. 3.5 Vývoj počtu ročních instalací tepelných čerpadel v ČR, vlastní zpracování z [88]

Pro další roky je očekáván nárůst instalací jak pro rodinné, tak i pro bytové domy. Celkem je v roce 2022 v Česku v provozu asi 200 000 tepelných čerpadel [70]. Poptávka vzrostla natolik, že jí trh nestíhá vyhovět a dodací lhůty se prodlužují. Čeští, nebo EU výrobci profitovali paradoxně z růstu poptávky nejméně, a to hlavně z důvodu velkého nedostatku materiálu. Nedostatek materiálu se ovšem dá považovat za přechodný problém, hlavním problémem na straně výroby a z části důvod prodlužujících se dodacích lhůt je nedostatek pracovníků hlavně na dělnických pozicích. Své kapacity výroby plánuje rozšířit většina výrobců sdružených v Asociaci pro využití tepelných čerpadel. Pro následující roky je plánováno rozšíření výrobní kapacity v řadě evropských závodů. Například Vaillant na Slovensku plánuje zvýšit výrobní kapacitu na 200 tis. tepelných čerpadel ročně, dále Daikin staví závod v Polsku, kde bude roční kapacita 300 tis. tepelných čerpadel. Mezi výrobci v České republice vypadá současná situace následovně. Výstavba nového závodu Acond v Milevsku, rozšíření závodů Daikin v Plzni

a v Brně. Dále ČR je potenciální zemí pro stavbu nových výrobních závodů společností Samsung, Alpha Innotec, nebo NIBE.³

Instalační kapacity specialistů na tepelná čerpadla jsou díky boomu v tomto oboru naplněny. Další kapacity instalací tepelných čerpadel pokrývají specialisté topenáři, kteří dříve instalovali plynové kotle. Těch se v roce 2021 instalovalo asi 90 tis. a v roce 2022 pouze 15 tis. Právě instalační kapacita je v ČR úzkým hrdlem dalšího rozvoje tepelných čerpadel v ČR a do budoucna je nutné posílit obory odborných, ale i vysokých škol, které souvisejí s rozvojem tepelných čerpadel.³

V roce 2050 budou hrát zásadní roli pro dekarbonizaci centrálního zásobování teplem velká vysokoteplotní průmyslová tepelná čerpadla, která by nahradila kotle na uhlí, či zemní plyn. Tato tepelná čerpadla nemají v současné době v ČR i přes značný potenciál prakticky žádné zastoupení [89].

3.3 Shrnutí výrobních a realizačních kapacit

V následujícím shrnutí jsou porovnány současné výrobní a realizační kapacity pro implementaci nových zdrojů potřebných pro splnění dekarbonizačních cílů Zelené dohody v EU a ČR s kapacitami potřebnými.

Tabulka 26 Porovnání současné výrobní a realizační kapacity EU s potřebnou pro splnění cílů Zelené dohody, vlastní zpracování z [47, 62, 65]

Shrnutí výrobních a realizačních kapacit EU	Současná kapacita	Potřebná kapacita^a	Potřebná kapacita^b
Fotovoltaika	50-85 GW/rok	42,3 GW/rok	252 GW/rok
Větrná energie	20 GW/rok	85,2 GW/rok	49 GW/rok

^a Pro scénář EUCalc

^b Vycházející ze zprávy 100 % Renewable Europe [91]

Tabulka 26 zobrazuje průměrné roční přírůstky instalované kapacity. Potřebná kapacita nových instalací větrných elektráren je v průměru mezi lety 2022 a 2050 při započítání životnosti 85,2 GW ročně, maximální tempo nových instalací je přitom až 123,1 GW za rok [47]. U fotovoltaických elektráren vychází průměr potřebných ročních instalací do roku 2050 na 42,3 GW, a to i se započítáním životnosti solárních panelů 25 let s počátkem v roce 2012. Nejrychlejší tempo bude potřebné do roku 2030 a to 79 GW/rok [47]. U fotovoltaiky se hranice kapacity týká především instalací, kdy limitem jsou pracovníci instalující solární panely, zatímco u větrných elektráren je limitujícím faktorem výrobní kapacita továren produkující komponenty. Obě obnovitelné technologie však mají společný problém zpomalující jejich další rozvoj a tím je povolovací proces [62, 65, 73].

³ BAREŠ, Petr. AVTČ Výrobní a instalační kapacity tepelných čerpadel v ČR [elektronická pošta]. 28.3.2023 [cit. 2023-04-19]

Tabulka 27 Porovnání současné výrobní a realizační kapacity ČR s potřebnou kapacitou vlastní zpracování z [47, 54, 84]

Shrnutí výrobních a realizačních kapacit ČR	Současná kapacita	Potřebná kapacita ^a	Potřebná kapacita ^b
Fotovoltaika	1 000 MW/rok	1 145,7 MW/rok	644,2 MW/rok
Větrná energie	250 MW/rok	535,5 MW/rok	542,9 MW/rok
Biometan	12 GWh	21,1 TWh	-
Tepelná čerpadla	60-70 tis. ks/rok	106 tis. ks/rok	36 tis. ks/rok

^a Pro vlastní scénář

^b Pro scénář EUCalc

V tabulce 27 výše jsou shrnuty současné realizační a výrobní kapacity potřebné pro dekarbonizaci společnosti v Česku jak podle scénáře vycházejícího z vlastních výpočtů, tak podle scénáře z modelu EUCalc. Uvedená hodnota současné kapacity instalací fotovoltaiky je maximální hodnotou při předpokladu výstavby velkých střešních a pozemních elektráren s předpokladem dostatku materiálu. Předpoklad u větrných elektráren počítá jak s plnou politickou podporou, tak podporou obyvatel a vychází z maximálního zužitkování větrné energie na území ČR v roce 2050 [54]. Pro biometan je nutný průměrný roční přírůstek produkce na 704 GWh. Průměrná bioplynová stanice v ČR vyrobí kolem 12 GWh bioplynu ročně a například bioplynová stanice v Rapotíně, která v současné době vyrábí i biometan ročně průměrně vyrobí přibližně 30 GWh bioplynu [86]. Současná kapacita pro instalace tepelných čerpadel vychází z kapacity instalačních firem [90].

4 Navýšení kapacit pro dosažení cílů dekarbonizace

Navýšení výrobních i realizačních kapacit je v EU i na úrovni České republiky naléhavou potřebou, pokud mají být vytyčené cíle dekarbonizace splněny. Evropská komise pokračuje ve snaze podpořit průmysl a zajistit tak navýšení kapacit pro obnovitelné zdroje. Za rok 2022 součástí této iniciativy bylo například zřízení Evropské aliance solárního průmyslu, která má zajistit diverzifikaci dodávky komponentů, nebo i zvýšit konkurenceschopnost výrobců v EU [93]. Podobné průmyslové aliance byly založeny také v odvětví biopaliv, nebo obnovitelného vodíku [93].

4.1 Kapacity na úrovni EU

Pokud by budování nových obnovitelných zdrojů pokračovalo na úrovni kapacit shrnutých v předchozích kapitolách, bylo by dosažení cílů podle dekarbonizačních scénářů následující.

Scénář EUCalc

- Fotovoltaika v roce **2033**
- Větrné elektrárny v roce **2131**

Kapacity ze zprávy *100 % Renewable Europe* [91]

- Fotovoltaika v roce **2109**
- Větrné elektrárny v roce **2094**

Z uvedených scénářů vyhovuje současné tempo nových zdrojů energie pouze fotovoltaice ve scénáři EUCalc, kdy by potřebná hodnota instalované kapacity pro rok 2050 byla dosažena již v roce 2033. Nicméně potřebná hodnota pro větrné elektrárny by byla teoreticky dosažena až o necelých 100 let později. Pro ostatní hodnoty instalované kapacity je současné tempo výstavby nedostatečné. Lze tedy říci, že se současnou kapacitou nových instalací by nebyl žádný ze scénářů do roku 2050 splněn a je nutné navýšení kapacit.

Větrné elektrárny

Dodavatelský řetězec komponent větrných elektráren v EU je v současné době sužován problémy jako jsou vysoká inflace, vysoké ceny materiálu, levnější konkurence z Asie, ale také problémy s povolováním nových větrných farem. Jen v Německu je v současnosti šestkrát více kapacity v povolovacím procesu, než ve výstavbě [95]. Současné kapacity by se měly rozšířit alespoň **4,3x** pro splnění cílů pro rok 2050 vyplývajících ze scénáře EUCalc, respektive **2,5x** pro splnění cíle uvedeného ve zprávě *100 % Renewable Europe* [65, 91]. K dosažení potřebného výkonu pro rok 2030 by musela být roční instalovaná kapacita v EU více jak trojnásobná, přesněji **3,27x** větší. V Evropské unii není dostatek továren pro všechny komponenty větrných turbín, které by byly potřeba pro splnění dekarbonizačních scénářů. Je odhadováno, že při současném růstu offshore instalací dojde po roce 2024 k nedostatku lodí potřebných pro tyto instalace, nebo údržbu [81]. Dále také pouze zlomek ze současných 137 lodí je schopno přepravovat velké větrné turbíny nových generací o výkonech vyšších než 8 GW [81].

Fotovoltaika

Produkce solárních panelů na území EU by se musela rozšířit i v případě konzervativního scénáře EUCalc alespoň **10x**, v případě druhého scénáře vycházejícího ze zprávy *100 % Renewable Europe* [91] dokonce **56x**. Je zřejmé, že i přes plánované navyšování výrobních kapacit bude muset být většina solárních panelů dovezena a dále budou řešeny pouze instalační

kapacity. Fotovoltaika je z obnovitelných zdrojů nejvíce náročná, co se týká počtu pracovních míst. Celkově v EU pracuje na plný úvazek v sektoru fotovoltaiky kolem 466 tis. pracovníků. Toto číslo by se pro instalaci cca 100 GW ročně muselo rozšířit až na 1 milion lidí [62, 75]. Pro scénář z *100 % Renewable Europe* je pro rok 2050 predikováno až 4 milióny lidí zaměstnaných na plný úvazek v odvětví fotovoltaiky [91]. Pro srovnání v roce 2019 pracovalo v celém odvětví energetiky v EU celkem 3,9 % celkové pracovní síly, tedy asi 7,5 miliónu lidí [95]. Instalační kapacity ve fotovoltaice se budou v EU muset výrazně rozšířit, jelikož v některých členských státech, jako například v Německu, Itálii, nebo Španělsku, již existuje nedostatek dostatečně kvalifikované pracovní síly pro realizaci [96].

Obnovitelný vodík

EU má v plánu do roku 2030 dovážet 10 Mt obnovitelného vodíku ročně [15]. Navýšeny budou tedy muset být také importní kapacity pro obnovitelný vodík a jeho nosiče jako jsou amoniak, nebo metanol. Celková importní kapacita amoniaku do EU činí 4 Mt [97]. Jelikož vodík tvoří asi 18 % hmotnosti amoniaku, v množství vodíku se jedná asi o 0,7 Mt. Další importní kapacitu zbylých 9,3 Mt obnovitelného vodíku bude nutné zajistit výstavbou nových terminálů, v plánech do roku 2030 jsou další 4 Mt v obnovitelném vodíku, nebo přepracováním terminálů pro LNG, či potrubí pro zemní plyn [97].

4.2 Kapacity v ČR

V jakém roce by bylo dosaženo potřebné kapacity nových zdrojů a technologií v České republice je shrnuto v následujícím přehledu.

Scénář EUCalc

- Fotovoltaika v roce **2039**
- Větrné elektrárny v roce **2085**
- Instalovaná tepelná čerpadla v roce **2033**

Vlastní scénář

- Fotovoltaika v roce **2054**
- Větrné elektrárny v roce **2084**
- Produkce biometanu v roce **2055**
- Instalovaná tepelná čerpadla v roce **2062**

Kapacity v České republice jsou vyhovující pro fotovoltaiku a tepelná čerpadla ve scénáři EUCalc. Pro vlastní scénář není kapacita dostačující v žádné z hodnocených kategorií. Je nutno zdůraznit, že současná kapacita pro instalace fotovoltaiky v ČR vychází z kapacit instalačních firem a potenciálu využití na území Česka a nebere v potaz současnou podporu občanů, nebo politiků. Ani v případě České republiky současné kapacity nestačí pro kompletní splnění scénářů pro energetický přechod do roku 2050 a bylo by tedy nutné navýšení těchto kapacit.

Větrné elektrárny

Pokud by pokračovaly instalace nových větrných elektráren s podobným tempem jako mezi lety 2006 a 2014, kdy bylo v ČR instalováno nejvíce výkonu, potom by bylo cíle pro scénář EUCalc dosaženo v roce 2472 a cíle uvedeného ve vlastním scénáři v roce 2463. I přes to že nebylo počítáno s životností větrných elektráren 25 let, je zřejmé, že současné tempo instalace nových zdrojů je pro splnění cílů nedostatečné. Dále i pokud by byla uvažována hodnota ročního přírůstku instalovaného výkonu větrných elektráren na 250 MW/rok, nebyl by splněn do roku 2050 žádný cíl z navržených scénářů, potřebné tempo by muselo být pro oba

scénáře více jak dvojnásobné. V roce 2020 v Česku existovalo 210 větrných elektráren. Pokud by pro výstavbu potřebné kapacity byly použity větrné turbíny Vestas V112 o výkonu 3 MW, jakožto modelová technologie vhodná pro podmínky ČR, potom by v roce 2050 muselo existovat nejméně 4300 takovýchto větrných turbín. Ročně by tedy od roku 2020 muselo přibývat na území Česka alespoň 162 takovýchto větrných turbín. Jelikož se potřebné roční přírůstky se pro oba scénáře liší jen v jednotkách procent, bude s navrženým počtem turbín pro rok 2050 počítáno pro oba scénáře.

Pro oba scénáře dekarbonizace ČR je na základě *Studie o ekonomických souvislostech a pracovních místech v sektoru výroby, výstavby, provozování a údržby větrných elektráren v ČR* [83] určen počet pracovních míst následovně. Pro stavbu 162 větrných turbín ročně by bylo potřeba 1650 stálých míst přímo spojených s výstavbou a instalací, na provoz všech 4 300 větrných turbín by dohlíželo 6 750 pracovníků a opravami, či modernizací (repowering) starších turbín by se zabývalo 1 690 lidí. Není počítáno s výrobou určitých komponentů na území ČR, všechen potřebný materiál by byl dovezen ze zahraničí. Nových pracovních míst by vzniklo tedy minimálně 9 750 [83].

Fotovoltaika

Roční nárůst nových instalací fotovoltaiky v České republice by pro splnění cíle instalovaného výkonu 32 900 MW v roce 2050 ve vlastním scénáři musel být ještě **4x** větší než za rok 2022. Současná maximální kapacita nových instalací v ČR by musela být ročně navýšena alespoň o 146 MW. Konzervativnější scénář vycházející z modelu EUCalc, u kterého vychází instalovaná kapacita v roce 2050 na cca 19 100 MW, je možné se současnou instalační kapacitou splnit. To by platilo za předpokladu, že by se znova začaly budovat velké pozemní a střešní instalace a růst trhu by byl podpořen legislativními změnami. Těmito změnami by mohla být hlavně možnost sdílení vyrobené energie, nebo posun limitu pro stavební řízení i očekávané ukončení měření výroby a spotřeby elektřiny u maloodběratelů na tři fáze.⁴ Jedním z hlavních problémů, který by bylo nutné překonat pro znásobení ročně instalované kapacity fotovoltaiky, je nedostatek materiálu. Žádný z dodavatelů na svých skladech nemá větší množství panelů, střídačů, nebo dalších stěžejních komponentů. Díky velkému zájmu v zahraničí i narušenému dodavatelskému řetězci a nutnosti většinu komponentů dovážet se dodávky zpožďují klidně i o několik měsíců. Zpoždění potom nabírá celý harmonogram prací kolem realizace fotovoltaické elektrárny. Splnění cílů instalované kapacity fotovoltaiky by znamenalo také navýšení kapacity přenosové sítě, jelikož i v současné době jsou už leckde nové instalace touto kapacitou omezeny. V určitých okresech, nebo na určitých linkách je vyčerpána kapacita připojitelnosti, a tak nelze připojit žádný paralelní zdroj.⁵

Současně vyráběné solární panely vhodné pro solární farmy, nebo velké komerční instalace složené ze 210 mm článků mají rozměr 1,3x2,4 m, tedy 3,12 m² a výkon kolem 620 W [98]. Celková plocha zabraná solárními panely by potom byla 96 km² pro scénář EUCalc a 166 km² ve vlastním scénáři.

Biometan

Pro splnění cíle roční produkce biometanu 21,1 TWh bude muset být průměrný roční přírůstek do roku 2050 704 GWh, tedy ještě o 115 GWh vyšší, než byl v ČR zaznamenán v období nejvyššího rozmachu (2005-2014) [71, 86]. Nárůst na potřebou kapacitu biometanu

⁴ KRČMÁŘ, Jan, výkonný ředitel Solární asociace [ústní sdělení]. Praha, 15.3.2023 [cit. 2023-04-29]

⁵ ČEJKA, Jan, Senior projektový manažer E.ON [elektronická pošta] Brno 11.4.2023 [cit. 2023-04-29]

v roce 2050 by znamenalo postavit v ČR dalších alespoň 467 takovýchto bioplynových stanic, což je cca 17 ročně. Co se týká vstupních surovin, potřebné množství biometanu pro rok 2050 by bylo teoreticky možné pokrýt následovně. Přestavbou 80 % stávajících bioplynových stanic na produkci biometanu by bylo získáno 5,6 TWh biometanu. Potřeba nové kapacity, a tedy i nové další vstupní biomasy, potom vychází na 15,5 TWh. Precizním využitím všech bioodpadů z komunálního odpadu by bylo možné získat 1,8 TWh biometanu, dále využitím všech odpadních produktů zemědělské výroby další 2 TWh [72]. Další kapacita v odpadech již není možná, protože vyrábět zboží, aby se následně stalo odpadem a surovinou pro bioplynové stanice není z energetického hlediska výhodné. Výhodnější je odpady omezit na minimální nutnou hodnotu a další biomasu pěstovat a zpracovávat k energetickým účelům přímo [85]. V podmínkách České republiky lze z jednoho hektaru kukuřice na energetické účely získat v ideálních podmínkách až 15 tun sušiny, která následně slouží k výrobě 35 MWh bioplynu [86]. Pokud by byla kukuřice pěstována na méně úrodných půdách je výnos přibližně poloviční [86]. Pro výpočet byla použita průměrná hodnota výhřevnosti bioplynu 20 MJ/m³. Pro pokrytí zbylých 11,7 TWh biometanu by bylo potřeba dalších 350-400 tis. ha zemědělské půdy. Tedy celkem by pěstování energetické biomasy k produkci biometanu zabíralo cca 14 % zemědělské půdy, nebo 7,4 % celé České republiky. Existuje mnoho názorů na to, zda je vhodné pěstovat energetické plodiny na půdě, kde mohou být pěstovány potraviny, nicméně výhody, či nevýhody tohoto počínání nejsou v této práci obsaženy. Hlavními problémy, které brzdí rozvoj produkce biometanu v ČR jsou legislativní bariéry, regulace a nedostatečná podpora. Například zastaralé plynárenské vyhlášky komplikovaly celoroční vtláčení biometanu do plynovodů se středním tlakem, či do lokálních sítí. Chybí také efektivní finanční motivace pro investice do nových zařízení, například garantovaná cena pro dodání určitého množství biometanu do sítě [86].

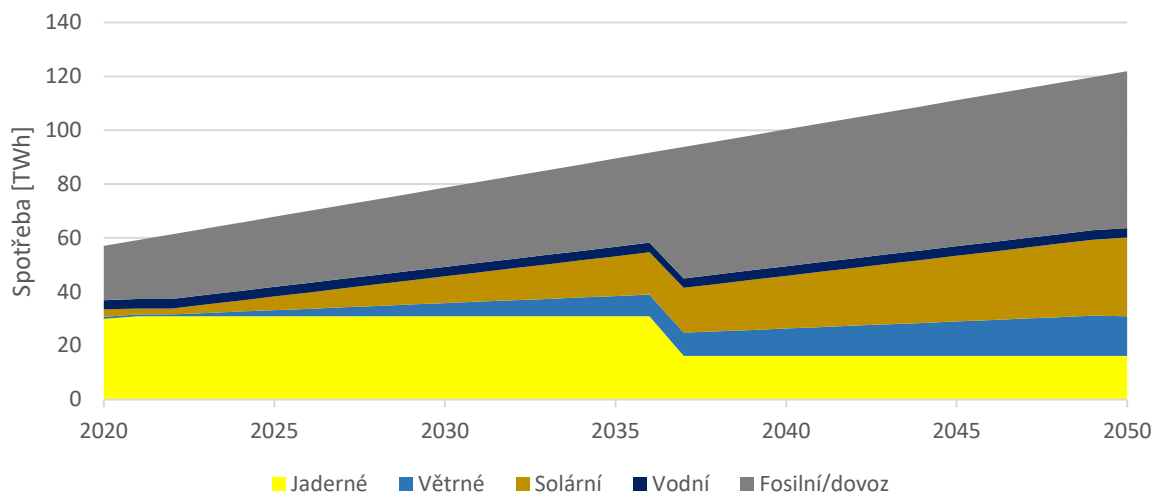
Tepelná čerpadla

U tepelných čerpadel je ve střední Evropě na následující roky 2024 a 2025 plánováno znásobení výrobní kapacity u řady výrobních závodů. Proto je výrobní kapacita pro oba scénáře dostačující a navýšení kapacit bude nutné spíše u kapacit instalačních. Současná kapacita je vyhovující pro konzervativní scénář vycházející z modelu EUCalc. U vlastního scénáře by se celkem počet ročně instalovaných čerpadel musel zvýšit alespoň **1,6x**. Výrazné rozšíření kapacit tepelných čerpadel bude potřebné také v teplárenství, kde doposud bylo levnější využívání fosilních paliv a investice do této nákladné technologie nedávala smysl. V Česku je dle odhadů možné instalovat velká tepelná čerpadla o součtovém výkonu až 4 GW [70]. Je také nutné vzít v potaz cenu elektrické energie, která když bude příliš vysoká a provoz tepelného čerpadla nebude oproti jiným alternativám výhodný, tak ani s podporou dotací k většímu rozmachu nedojde [90].

4.3 Možné problémy rychlé transformace

Celková dekarbonizace společnosti je závislá i na mnoha jiných faktorech, než jsou zmíněny hodnocení kapacit. Tato kapitola ukazuje výběr možných problémů, které by mohly vyplývat z rychlé transformace k bezemisní energetice. Jedním z problémů, který by mohl nastat je nedostatečně rychlé tempo výstavby nových zdrojů při současném růstu spotřeby. Například by se mohlo stát, že by v ČR došlo k selhání, či zrušení plánů na nové jaderné projekty, což už se ve světě v minulosti stalo a zároveň by výstavba obnovitelných zdrojů pokračovala tempem určeným v kapitole hodnocení stavu výrobních a realizačních kapacit. Instalovaná kapacita větrných elektráren by se zastavila na 7 000 MW a fotovoltaika by se současnou kapacitou dosáhla přibližně 30 000 MW [54, 82]. Jaderná elektrárna Dukovany by byla odstavena v roce 2037 a do roku 2050 by zůstaly pouze dva bloky v elektrárně Temelín.

Při nedostatečně rychlé dekarbonizaci výroby by elektrifikace sektorů nejspíše nebyla až tak výrazná, nicméně pro zjednodušení je pro porovnání brána v potaz předpokládaná spotřeba 121,9 TWh v roce 2050 vycházející z vlastního scénáře [43]. Výroba vybranými obnovitelnými zdroji je při tomto neúspěšném scénáři zobrazena na obr. 4.1. Celkem by dovozem, výrobou fosilními, nebo jinými zdroji muselo být v roce 2050 kompenzováno 58 TWh.



Obr. 4.1 Vývoj spotřeby elektřiny ve vlastním scénáři pro ČR při neúspěšné transformaci, vlastní výpočet z [43, 103]

Na celounijní úrovni je největším kapacitním problémem nedostatečná kapacita výroby a instalací větrných elektráren [65]. Pokud by bylo pokračováno se současnou kapacitou instalací obnovitelných zdrojů a zároveň se zvýšením spotřeby elektrické energie vyplývající ze scénáře EU Calc, potom by v roce 2050 bylo nutné vyrobit více elektřiny pomocí fosilních zdrojů, než v roce 2020 a to přibližně trojnásobné množství [23, 47].

Rychlost transformace na bezemisní společnost bude ovlivněna vyspělostí, dostupností a připraveností pro širokou implementaci různých technologií. Například technologie bezemisní výroby elektrické energie pomocí onshore větrných elektráren, nebo fotovoltaiky jsou k dispozici, existují v komerční podobě a lze je škálovat. Offshore větrné elektrárny se řadí mezi vyvíjející se technologie, hlavně kvůli prostoru pro snížení ceny, nebo zlepšení infrastruktury, jelikož jsou omezeny hloubkou mořského dna [100]. Obecně je ale sektor energetiky, co se týká dostupnosti technologií, nejdále. U dopravy mají například elektrická vozidla, i když dosáhla v posledních letech značného pokroku, pořád k dosažení plné vyspělosti daleko a bude potřeba další vývoj a snižování nákladů. Nákladní vozidla, letadla, nebo lodě jsou pro současnou technologii baterií z velké části nevhodná a musely by jít cestou syntetických paliv a biopaliv. Tato paliva jsou ovšem zatím drahá a není jasné, jak je vyrábět ve větším měřítku [100, 104]. Pro sektor budov již většina potřebných technologií je k dispozici, v tomto sektoru bude daleko větší úkol renovovat obrovské množství existujících budov. Nejtěžší a nejdražší dekarbonizace bude probíhat v sektoru průmyslu, jelikož budou potřebné technologie, které jsou stále v rané fázi vývoje. Jedná se například o technologie ukládání uhlíku z průmyslových procesů, nebo nahrazení fosilních paliv ve výrobě oceli a chemických procesech obnovitelným vodíkem [100]. Sektor, kde se nelze emisím vyhnout a budou muset být kompenzovány pohlcováním uhlíku je produkce potravin v zemědělství [100]. Ostatně dle odhadu Mezinárodní agentury pro energii (IEA) téměř 50 % emisí, které bude potřeba do roku 2050 eliminovat je závislých na technologiích, jež jsou v současné době ve fázi prototypu, nebo pilotního provozu [104].

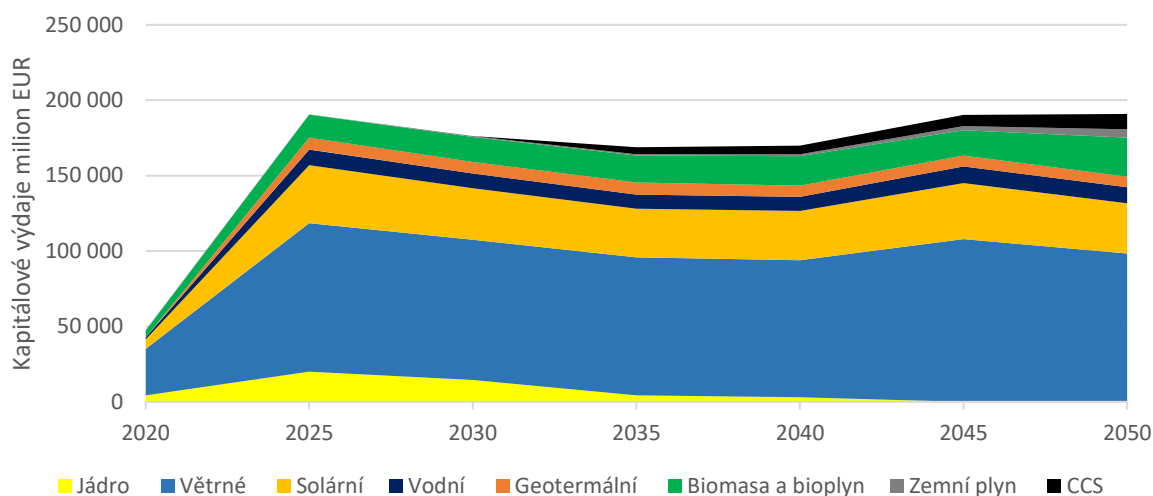
Ve všech řešených scénářích jak pro EU, tak na národní úrovni České republiky je energetický mix založen na vysokém podílu obnovitelných zdrojů s intermitentním charakterem výroby. Právě díky proměnlivému charakteru založeném na počasí může docházet k tzv. kanibalizačnímu efektu. To ve stručnosti znamená, že v hodinách, kdy je produkce elektřiny z obnovitelných zdrojů vyšší než poptávka, klesá cena energie a rentabilita těchto zdrojů je snížena [105].

4.4 Financování energetického přechodu

Realizace Zelené dohody v Evropě bude vyžadovat rozsáhlé investice. Na podporu iniciativ Zelené dohody byl jen do roku 2030 přidělen Evropskou komisí 1 bilion euro [99]. Největší část, tedy 503 miliard euro, by měla pocházet přímo z rozpočtu EU. Dále 114 miliard euro by mělo pocházet přímo od vlád jednotlivých členských států, a nakonec zbylých 279 miliard euro by mělo být pokryto soukromým sektorem. Zde je myšlenka taková, že by společnosti byly povzbuzovány k riskantním investicím do nových nízkouhlíkových technologií pomocí úvěrových záruk od Evropské investiční banky, která se zavázala, že postupně ukončí půjčky pro projekty s fosilními palivy [99]. Kromě zmíněných výdajů je ještě v plánu dalších 100 miliard euro pro sociální fond, který má pomoci lidem postiženým energetickým přechodem, například z uhelných regionů. Z nového dlouhodobého rozpočtu EU pro roky 2021 až 2027 by mělo na projekty související s klimatem jít 30 % z celkového rozpočtu 1,8 bilionu euro [99]. Celková cena za uhlíkovou neutralitu do roku 2050 by ovšem mohla být násobně vyšší. I pokud by byl přesměrován veškerý kapitál, který by jinak proudil do uhlíkově náročných technologií, tedy 23 bilionu euro, stále by do roku 2050 bylo nutné přidat 5,4 bilionu euro na nové čisté technologie. Ročně by to znamenalo investovat do čistých technologií v průměru 980 miliard euro. Toto číslo představuje asi 31 % ročních kapitálových investic, které jsou v současnosti prováděny. Peníze navíc by šly především do sektoru průmyslu, budov a energetické infrastruktury [100]. Pro porovnání hrubý domácí produkt (HDP) Evropské unie v roce 2021 činil z hlediska celkové hodnoty vyprodukovaného zboží a služeb 14,5 bilionu eur [102].

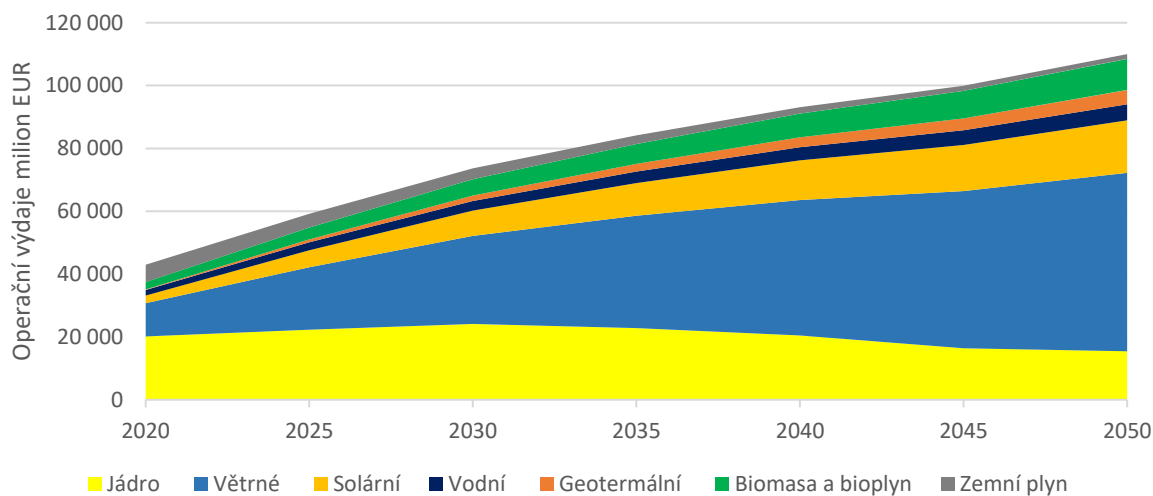
Co se týká dosavadní snahy, tak například Německo stál jeho energetický přechod *Energiewende* mezi lety 2000 až 2019 celkově 520 miliard euro [35]. Podle odhadu německé agentury pro životní prostředí by dosažení klimatické neutrality v Německu stálo ročně přibližně 90 miliard euro na opatřeních pro ochranu klimatu a transformaci odvětví energetiky, budov, dopravy a průmyslu [102]. Pro srovnání se jedná přibližně o 20 % současného německého rozpočtu, který činí pro rok 2023 476 miliard euro [102].

Výstupem z modelu EUCalc, ve kterém byl simulován energetický přechod pro EU jsou také kapitálové a operační výdaje produkce elektrické energie. Kapitálové výdaje dosáhnou až čtyřnásobku hodnoty z roku 2020 a jejich vývoj do roku 2050, dle zdroje energie je shrnut na obr. 4.2. Lze pozorovat, že většina kapitálových výdajů je do větrných elektráren, jejichž instalovaný výkon má v roce 2050 překročit 2 000 GW [47]. Součástí projekce jsou také náklady na ukládání uhlíku.



Obr. 4.2 Vývoj kapitálových výdajů produkce elektřiny EU do roku 2050, vlastní úprava z [47]

Vývoj operačních výdajů produkce elektrické energie do roku 2050 v EU je zobrazen na obr. 4.3. Operační výdaje by měly vystoupit na více než dvojnásobnou hodnotu vzhledem k roku 2020 [47].



Obr. 4.3 Vývoj operačních výdajů produkce elektřiny EU do roku 2050, vlastní úprava z [47]

Potřebné kapitálové výdaje do vybraných zdrojů pro výrobu elektřiny v České republice dle modelu EUCalc jsou zobrazeny v tabulce 28.

Tabulka 28 Celkové kapitálové náklady pro produkci elektrické energie do roku 2050 pro model EUCalc, vlastní úprava z [47]

Kapitálové náklady pro produkci elektřiny ČR celkem do roku 2050	Milion EUR
Fotovoltaika	1 306,8
Větrná energie	2 704,3
Biomasa a bioplyn	1 164,6
Jádro	2 278,9

ZÁVĚR

Diplomová práce analyzuje v nedávné době implementované plány dekarbonizace Evropské unie z pohledu produkčních kapacit nových zdrojů energie. Nové dekarbonizační plány EU by měly vývoj emisí, a s nimi spojený nárůst globální teploty, dostat na cestu potřebnou ke splnění Pařížské dohody. V současné době tvoří emise vypuštěné v EU přibližně 7 % všech globálních emisí a tento poměr se stále snižuje. Pokud by byly brány v potaz i kumulované emise počítané od předindustriálního období, země Evropské unie jsou odpovědné přibližně z jedné pětiny. Klimatická neutralita v EU má z pohledu globálních emisí stále menší význam, ovšem může sloužit jako vzor, nebo zdroj zkušeností a know-how pro ostatní země. Evropská unie jako celek své předchozí klimatické plány do roku 2020 splnila, i když svůj podíl na tom měla i opatření spojené s pandemií koronaviru SARS-CoV-2. Trend množství vypuštěných emisí je sice klesající, nicméně emise neubývají dostatečně rychle.

Hlavními cíli práce jsou určení množství nových bezemisních zdrojů energie potřebných pro splnění dekarbonizačních plánů a porovnání tohoto množství se současnými kapacitami. Oba cíle byly vypracovány jak pro celou EU, tak samostatně pro Českou republiku. Výběr z výsledků hlavních cílů práce je uveden v následujícím přehledu.

Současné kapacity na úrovni EU.

- Instalace fotovoltaiky maximálně 85 GW/rok
- Instalace větrných elektráren 20 GW/rok

Současné kapacity v České republice.

- Instalace fotovoltaiky 1GW/rok
- Instalace větrných elektráren 250 MW/rok
- Roční produkce biometanu 12 GWh
- Instalace tepelných čerpadel 65 tis. ročně

Kapacity pro instalace fotovoltaiky a větrných elektráren jsou v ČR platné jen za plné podpory obyvatel a politiků. Celkem bylo využito několika dekarbonizačních scénářů. Pro hodnocení potřebného množství nových zdrojů energie v EU bylo využito modelu EUCalc Evropské komise. Tento model popisuje různé cesty k uhlíkové neutralitě na celounijní i národní úrovni a byl přizpůsoben tak, aby odpovídal cílům uvedeným v dekarbonizačních plánech. Scénář EUCalc počítá s výraznými zásahy do společnosti v podobě změny chování, cestování, bydlení, nebo stravy obyvatel pro úsporu energie a jedná se tedy spíše o konzervativní odhad. Celkově by úsporami primární spotřeba energie do roku 2050 klesla o 40 %. Spotřeba elektrické energie by díky elektrifikaci napříč sektory vystoupala z přibližně 2800 TWh v roce 2020 na 7700 TWh. Pro porovnání potřebných nových zdrojů v EU je proto ještě využito zprávy *100 % Renewable Europe*. Potřeba nových zdrojů energie v České republice byla určena jednak pomocí již popsaného modelu EUCalc, ale také bylo využito vlastního scénáře, ve kterém byla upravena konečná spotřeba a výroba elektrické energie v ČR tak, aby oboje odpovídaly podmínkám určeným v dekarbonizačních plánech. Ve scénáři EUCalc je predikovaná spotřeba elektrické energie pro rok 2050 necelých 96 TWh, vlastní scénář odhaduje spotřebu přibližně na 122 TWh. Konečná spotřeba má být menší oproti dnešním hodnotám o 34 %, a to hlavně díky lepší účinnosti nových technologií.

Potřebné kapacity na úrovni EU.

- Ve scénáři EUCalc je nutno instalovat ročně alespoň 42,3 GW fotovoltaiky a 85,2 GW větrných elektráren.

- Ze zprávy *100 % Renewable Europe* plyne potřebné tempo na 252 GW ročně pro fotovoltaiku a 49 GW ročně pro větrné elektrárny.

Potřebné kapacity pro Českou republiku.

- Ve scénáři EU Calc je potřeba ročně instalovat alespoň 644,2 MW fotovoltaiky, 542,9 MW větrných elektráren a 36 tis. tepelných čerpadel.
- Ve vlastním scénáři je potřeba ročně instalovat minimálně 1 145,7 MW fotovoltaiky, 535,5 MW větrných elektráren, 106 tis. tepelných čerpadel a každý rok zvýšit produkci biometanu o 704 GWh až na celkem 21,1 TWh v roce 2050.

Dekarbonizační scénáře není možné se současnou kapacitou kompletně splnit. Chybí výrobní kapacita pro komponenty větrných turbín i pracovní síla pro instalace fotovoltaiky a tepelných čerpadel, nebo dostatek biomasy pro výrobu biometanu. Pro instalace fotovoltaiky by bylo nutné zvýšení počtu pracovníků v EU z dnešních cca 466 tis. až na 4 milióny. Potřebných až 4 milióny pracovníků v odvětví fotovoltaiky bude nutné sehnat ať už rekvalifikací z jiných odvětví, nebo importem z jiných částí světa. Výrobní kapacity fotovoltaiky jsou v EU zanedbatelné, a i přes jejich plánované navýšení na 30 GW ročně bude muset být většina pro dekarbonizaci potřebných solárních panelů do EU dovezena.

U větrných turbín, které se stále z velké části vyrábí v Evropě, je limitem hlavně výrobní kapacita a dodavatelský řetězec jednotlivých komponentů. Bylo by tedy nutné vybudování většího množství výrobních závodů, ale i rozšíření instalačních kapacit, zejména na moři. Potřeba pracovní síly ve větrné energetice je od fotovoltaiky rozdílná tím, že není potřeba až tak velké množství méně kvalifikované pracovní síly, ale spíše méně více kvalifikovaných pracovníků. Limitujícím faktorem výstavby všech nových obnovitelných zdrojů v EU je povolovací proces, který by měl být rychlejší.

Z výsledků diplomové práce dále plynou také tyto obecné závěry:

- Celková spotřeba energie bude s příchodem nových technologií klesat a zároveň bude růst spotřeba elektřiny, až na více než dvojnásobek dnešních hodnot.
- Dosažení uhlíkové neutrality v EU do roku 2050 by vyžadovalo investovat přibližně 28 biliónů eur do čistých technologií. Ročně by to znamenalo vynaložit na dekarbonizaci asi 980 miliard eur, tedy 6,8 % současného HDP Evropské unie.
- Největším zjištěným problémem jak pro dekarbonizaci Evropské unie, tak České republiky je kapacita výstavby větrných elektráren. Navýšení výrobních kapacit je časově náročné, a navíc technologie offshore větrných elektráren zatím nepatří mezi vyspělé. Energie větru je obzvlášť potřebná v zimní polovině roku, kdy je jí více a vyrovnává málo fungující fotovoltaiku.
- Současné kapacity pro výrobu nebo realizaci nových bezemisních zdrojů energie nejsou pro požadované tempo dekarbonizace dostačující a k uhlíkové neutralitě by došlo později, než v roce 2050.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *EUROSTAT: Primary energy consumption* [online]. EU, 2021 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_10/default/table?lang=en
- [2] *Zelená dohoda pro Evropu* [online]. Fakta o klimatu, 2022 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/zelena-dohoda-pro-evropu#co-jsou-hlavni-cile-a-vychodiska>
- [3] *European Commission: Climate action Paris Agreement* [online]. EU, 2016 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en#documentation
- [4] *Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* [online]. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2019 [cit. 2023-04-01]. ISBN 10.1017/9781009157940. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- [5] SUN, Ruo-Shui, Xiang GAO, Liang-Chun DENG a Can WANG. Is the Paris rulebook sufficient for effective implementation of Paris Agreement?. *Advances in Climate Change Research*. 2022, 13(4), 600-611. ISSN 1674-9278. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.accre.2022.05.003>
- [6] *European Commission: European Climate Law* [online]. EU, 2021 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en
- [7] *European Council: Timeline - European Green Deal and Fit for 55* [online]. EU, 2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/timeline-european-green-deal-and-fit-for-55/>
- [8] HIRSCHMANN, Clara. *The European Green Deal - a chance to foster the further integration of renewable energies into the European energy system ?*. Liège, 2020. Master. Université Liège Faculté des Sciences. Vedoucí práce Hauglustaine Jean-Marie.
- [9] *European Council: Fit for 55* [online]. EU, 2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- [10] *EUROSTAT: Greenhouse gas emissions* [online]. EU, 2020 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_13_20/default/table?lang=en
- [11] *European Environment Agency: Greenhouse gas emissions from transport in Europe* [online]. EEA, 2022 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport>
- [12] *European Commission: The Effort Sharing Regulation and Land, Forestry and Agriculture Regulation* [online]. EU, 2021 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3543
- [13] *European Commission: Commission proposes new Euro 7 standards* [online]. EU, 2022 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495
- [14] *European Environment Agency: Emissions of air pollutants from transport* [online]. EU, 2021 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8>

- [15] European Commission: REPowerEU Plan. In: Brussels: EU, 2022, COM (2022) 230 final. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483>
- [16] European Environment Agency: Greenhouse gas emissions from energy use in buildings in Europe [online]. EEA, 2022 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-energy>
- [17] SALA LIZARRAGA, José M P a Ana PICALLO-PEREZ. 1 - Efficient buildings and the arguments for incorporating exergy. In: . Butterworth-Heinemann, 2020, s. 3-66. ISBN 978-0-12-817611-5. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817611-5.00001-1>
- [18] COMMISSION, European a Directorate-General for Mobility and TRANSPORT. EU transport in figures: statistical pocketbook 2022: statistical pocketbook 2022. Publications Office of the European Union, 2022. Dostupné z: doi:[doi:10.2832/216553](https://doi.org/10.2832/216553)
- [19] Emise skleníkových plynů v EU podle sektorů detailně: Fakta o klimatu [online]. 2019 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-eu-detail>
- [20] EKVIVALENT OXIDU UHLÍČITÉHO (CO₂EKV.). In: Samosebou [online]. 2023 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/slovník/ekvivalent-oxidu-uhliciteho-co2-ekv/>
- [21] SEDLÁŘ, Jan. Chladiva a historie ochrany ovzduší [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/13626-chladiva-uvod-definice-historie>
- [22] European Environment Agency: Greenhouse gas emissions by aggregated sector [online]. EEA, 2021 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/ghg-emissions-by-aggregated-sector-5#tab-dashboard-02>
- [23] EUROSTAT: DATASETS Energy balance [online]. EU, 2023 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/enps_nrg_bal_c
- [24] European Commission: Renewable energy targets [online]. EU, 2022 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en
- [25] PETROLLESE, Mario, Giulia CONCAS, Francesco LONIS a Daniele COCCO. Techno-economic assessment of green hydrogen valley providing multiple end-users. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022, 47(57), 24121-24135. ISSN 0360-3199. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.04.210>
- [26] ZICHOVÁ, Kateřina. Euractiv: Z uhelných krajů vodíkové? V Ústeckém a Moravskoslezském kraji budují vodíková údolí [online]. 2022 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/prumysl-a-inovace/news/z-uhelných-krajů-vodíkové-v-usteckém-a-moravskoslezském-kraji-budují-vodíková-údolí/>
- [27] DEKKER, Harmen. European Biogas Association: Commission announces groundbreaking biomethane target: 'REPowerEU to cut dependence on Russian gas' [online]. 2022 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://gasforclimate2050.eu/news-item/commission-announces-groundbreaking-biomethane-target-repowerEU-to-cut-dependence-on-russian-gas/>
- [28] VAŘEJKA, Tomáš. Hydrotermální konverze biomasy. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ing. Jakub Lachman.

- [29] *REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL: Regulation (EU) 2018/842 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement* [online]. EU, 2021 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52021PC0555>
- [30] RÝDL, Filip. *Změna klimatu jako politické téma v Evropské unii a České republice*. Plzeň, 2021. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [31] PERISSI, Ilaria a Aled JONES. Investigating European Union Decarbonization Strategies: Evaluating the Pathway to Carbon Neutrality by 2050: Evaluating the Pathway to Carbon Neutrality by 2050. *Sustainability* [online]. 2022, 14(8) [cit. 2023-04-07]. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su14084728
- [32] *VYHODNOCENÍ POLITIKY OCHRANY KLIMATU V ČR: Česká informační agentura životního prostředí*. Moskevská 1523/63 Praha 10, 2021. ISBN 978-80-7674-022-8.
- [33] *Agora Energiewende: The Energiewende in a nutshell* [online]. Agora, 2017 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2017/Energiewende_in_a_nutshell/Agora_The_Energiewende_in_a_nutshell_WEB.pdf
- [34] *Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Unsere Energiewende: sicher, sauber, bezahlbar* [online]. 2021 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende.html>
- [35] *The Energy of the Future: 8th Monitoring Report on the Energy Transition* [online]. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), 2021 [cit. 2023-04-07].
- [36] *European Environment Agency: EU achieves 20-20-20 climate targets* [online]. EEA, 2021 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/highlights/eu-achieves-20-20-20>
- [37] *European Parliament: Carbon Leakage: Impacts and Solutions* [online]. EU, 2018 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/603981/IPOL_STU\(2018\)603981_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/603981/IPOL_STU(2018)603981_EN.pdf)
- [38] COMMISSION, European, Directorate-General for Climate ACTION, Directorate-General for ENERGY, et al. *EU reference scenario 2020: energy, transport and GHG emissions: trends to 2050: energy, transport and GHG emissions*. Publications Office, 2021. Dostupné z: doi:doi/10.2833/35750
- [39] *European Parliament: Climate action in Czechia Latest state of play* [online]. EU [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689329/EPRS_BRI\(2021\)689329_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689329/EPRS_BRI(2021)689329_EN.pdf)
- [40] *Česká informační agentura životního prostředí: VYHODNOCENÍ POLITIKY OCHRANY KLIMATU V ČR*. Praha, 2021. ISBN 978-80-7674-022-8.
- [41] *EUROSTAT: Electricity and heat statistics* [online]. EU, 2021 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_and_heat_statistics
- [42] *ERÚ: ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. Jihlava, 2021 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://ipodpora.odborny.info/soubory/uploads/eruelektro2021.pdf>

- [43] MPO: *Souhrnná energetická bilance České republiky* [online]. 2021 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/energeticke-bilance/2021/12/SEB-2010-2020.pdf>
- [44] *Uhlíkové emise podle zdroje: Electricity Maps* [online]. 2022 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://app.electricitymaps.com/map>
- [45] SZYMAŃSKI, B. *How to Compare the Power of Renewable Energy Plants with Conventional Ones*. Warsaw, Poland: Solaria, 2013.
- [46] RABE, Marcin, Dalia STREIMIKIENE a Yuriy BILAN. The Concept of Risk and Possibilities of Application of Mathematical Methods in Supporting Decision Making for Sustainable Energy Development. *Sustainability* [online]. 2019, 11(4) [cit. 2023-04-11]. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su11041018
- [47] *European Commission: EU Calculator: Trade-offs and pathways towards sustainable and low-carbon European Societies* [online]. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK): Research and Innovation Action (RIA), 2016 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.european-calculator.eu/model/>
- [48] *European Commission: PRIMES Energy System Model* [online]. EU, 2020 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://web.jrc.ec.europa.eu/policy-model-inventory/explore/models/model-primex>
- [49] *Plyn jako stabilizátor (elektro)energetiky ČR: EGÚ Brno*. 2021, 3-4.
- [50] IEA: *Buildings Sectorial overview* [online]. Paris: IEA, 2022 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/buildings>
- [51] TSIROPOULOS, Ioannis, Wouter NIJS, Dalius TARVYDAS a RUIZ PABLO. *Towards net-zero emissions in the EU energy system by 2050*. 2020/10/01. Dostupné z: doi:10.2760/081488
- [52] KRČÁL, Jan. *Fakta o klimatu: BEZEMISNÍ ENERGETIKA V ČESKU V ROCE 2050* [online]. 2023 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/bezemisni-energetika-cr-2-technologie#jadro>
- [53] *Skupina ČEZ: Energy Outlook 2050* [online]. Praha: Economia, 2018 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/energy-outlook-2050.pdf>
- [54] HANSLIAN, David. *Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice z perspektivy roku 2020*. Praha: Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2020. Dostupné také z: https://www.ufa.cas.cz/DATA/vetrna-energie/Potencial_vetrne_energie_2020.pdf
- [55] *EMBER CLIMATE: Česko bez uhlí od 2030* [online]. 2020 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://ember-climate.org/insights/research/necp7/>
- [56] *European Environment Agency: Greenhouse gas emissions from land use, land use change and forestry in Europe* [online]. EEA, 2022 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-land>
- [57] *Öko-Institut e.V.: Übersicht über die Vorschläge zu den EU-Zielvorgaben* [online]. Berlin: Prognos, 2023 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Einschaetzung-Fit-for-55.pdf>
- [58] *Transport and Environment: Hydrogen & efuels* [online]. EU, 2022 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/challenges/energy/hydrogen-efuels/>
- [59] *CARBON COMMENTARY: Some rules of thumb of the hydrogen economy* [online]. 2021 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.carboncommentary.com/blog/2021/6/11/some-rules-of-thumb-of-the-hydrogen-economy>

- [60] NOUVEL, Romain, Mariela COTRADO SEHGELMEBLE a Dirk PIETRUSCHKA. *European Mapping of Seasonal Performances of Air-source and Geothermal Heat Pumps for Residential Applications*. 2015/09/09.
- [61] *European Commission: State of the Energy Union 2021* [online]. Brussels: EU, 2021 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_5554
- [62] *SolarPowerEurope: EU Market Outlook for Solar Power 2022-2026* [online]. Brussels, 2022 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.solarpowereurope.org/insights/market-outlooks/eu-market-outlook-for-solar-power-2022-2026-2>
- [63] *IEA: Bioenergy with Carbon Capture and Storage - Tracking report 2022* [online]. Paris: IEA, 2022 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage>
- [64] *European Parliament: Progress on Climate action in Czechia* [online]. Brussels: EU, 2021 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689329/EPRS_BRI\(2021\)689329_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689329/EPRS_BRI(2021)689329_EN.pdf)
- [65] *WindEurope: Wind energy in Europe: 2022 Statistics and the outlook for 2023-2027* [online]. Brussels, 2022 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/>
- [66] *Sčítání lidu, domů a bytů: Český statistický úřad*. [online]. Praha, 2011 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/scitani-lidu-domu-a-bytu>
- [67] KOŘENKOVÁ, Veronika a Petr HORÁK. Stav bytového fondu ČR z pohledu energetické náročnosti budov. *TZB-info.cz* [online]. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov, 2022 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/23997-stav-bytoveho-fondu-cr-z-pohledu-energeticke-narocnosti-budov>
- [68] DALLA LONGA, Francesco, Larissa P. NOGUEIRA, Jon LIMBERGER, Jan-Diederik van WEES a Bob VAN DER ZWAAN. Scenarios for geothermal energy deployment in Europe. *Energy*. 2020, **206**, 118060. ISSN 0360-5442. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118060>
- [69] *Energy Charts: Public net electricity generation in Czech Republic* [online]. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2023 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://energy-charts.info/charts/power/chart.htm?l=en&c=CZ>
- [70] *ČEPS: Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022)* [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/jaderna-energetika-a-nove-jaderne-zdroje/zapojeni-ceskeho-prumyslu/2023/3/87772_iceps-maf-2022.pdf
- [71] *Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR: Obnovitelné zdroje energie v roce 2020 Výsledky statistického zjišťování* [online]. Praha, 2020 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2021/9/Obnovitelne-zdroje-energie-2020.pdf>
- [72] SCHWARZ, Martin: Využití potenciálu biometanu v plynárenství. *Biom.cz* [online]. 2021-12-23 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-potencialu-biometanu-v-plynarenstvi>>. ISSN: 1801-2655.

- [73] IEA: *Solar PV Global Supply Chains* [online]. Paris: IEA, 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains/executive-summary>
- [74] Reuters: *China's solar power capacity set for record increase in 2022 - industry body* [online]. 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/business/energy/chinas-solar-power-capacity-set-record-increase-2022-industry-body-2022-02-23/>
- [75] Kompetenzzentrum Fachkräftesicherung: *Energie aus Wind und Sonne Welche Fachkräfte brauchen wir?* [online]. Köln: neues handeln, 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.kofa.de/daten-und-fakten/studien/energie-aus-wind-und-sonne/>
- [76] Wood Mackenzie: *China drives global wind turbine orders to new record in 2022* [online]. 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: https://www.woodmac.com/press-releases/china-drives-global-wind-turbine-orders-to-new-record-in-2022/?t_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCfg%3d%3d&t_q=global+wind+orders&t_tags=Marketing%2clanguage%3aen&t_ip=89.176.224.187&t_hit.id=WoodMac_Site_Features_Content_Pages_Models_NewsReleaseArticlePage/ca88d315-5ec0-42fd-93d3-d9b58ff1b952_en&t_hit.pos=1
- [77] Siemens Gamesa: *Renewable Energy Annual Report 2020* [online]. Spain, 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/-/media/siemensgamesa/downloads/en/investors-and-shareholders/annual-reports/2020/siemens-gamesa-renewable-energy-annual-report-2020-en.pdf>
- [78] Vestas Wind Systems A/S: *Annual Report 2020* [online]. Aarhus N . Denmark, 2021 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://mb.cision.com/Main/18886/3283502/1370563.pdf>
- [79] Nordex SE: *2020 Annual Report* [online]. Hamburg Germany: Investor Relations, 2021 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://ir.nordex-online.com/download/companies/nordex/Annual%20Reports/DE000A0D6554-JA-2020-EQ-E-00.pdf>
- [80] ENERCON GmbH: *SUSTAINABILITY REPORT 2020* [online]. Aurich Germany: ENERCON, 2021 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/ENERCON_-_Sustainability_Report_2020.pdf
- [81] Rystad Energy: *Offshore Vessel Solution* [online]. Oslo, 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.rystadenergy.com/services/offshore-vessel-solution>
- [82] SOLÁRNÍ ASOCIACE: *Výroční zpráva 2021* [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: https://www.solarniasociace.cz/dokumenty/057_2022_sa_210x210_vyrocní_zprava_nahled_12.pdf
- [83] KARÁSEK, Jiří. *Studie o ekonomických souvislostech a pracovních místech v sektoru výroby, výstavby, provozování a údržby větrných elektráren v ČR* [online]. Praha: SEVEn Energy, 2016 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: https://hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/2016/08/studie_pracovni_mista_z_vetrných_elektraren_final.pdf
- [84] Česká bioplynová asociace: *Bioplyn v ČR stav k 30. 6. 2022* [online]. České Budějovice, 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/statistiky-vyroby-bioplynu.html>

- [85] *Asociace soukromého zemědělství ČR: Bioplyn a biometan mohou nahradit 20 % zemního plynu* [online]. 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.asz.cz/clanek/9394/bioplyn-a-biometan-mohou-nahradit-20-zemniho-plynu/>
- [86] *Česká bioplynová asociace: Technologický foresight 2020–2040* [online]. České Budějovice, 2017 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: https://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/Technologicky_foresight.pdf
- [87] HONSOVÁ, Hana: Pěstování kukuřice na výrobu bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2013-09-16 [cit. 2023-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-kukurice-na-vyrodu-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
- [88] *Asociace pro využití tepelných čerpadel: SPOLEČNÁ TISKOVÁ ZPRÁVA AVTČ, OZE, CAFT* [online]. 2023 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.avtc.cz/?page=233.spolecna-tiskova-zprava-avtc-oze-caft>
- [89] BUFKA, Aleš a Jana VEVERKOVÁ. Tepelná čerpadla v letech 1981 až 2021; druhy, vývoj, prodeje, výkony, tepelné faktory. *TZB-info* [online]. 2022 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/19284-tepelna-cerpadla-v-letech-1981-2019-druhy-vyvoj-prodeje-vykony-tepelne-faktory>
- [90] BAREŠ, Petr. AVTČ Výrobní a instalační kapacity tepelných čerpadel v ČR [elektronická pošta]. 28.3.2023 [cit. 2023-04-19]
- [91] *100 % Renewable Europe: How To Make Europe's Energy System Climate-Neutral Before 2050. SolarPower Europe and LUT University, 2020. ISBN 9789463965996.* Dostupné také z: https://api.solarpowereurope.org/uploads/Solar_Power_Europe_LUT_100_percent_Renewable_Europe_mr_804d34f698.pdf
- [92] LEPESANT, Gilles. *Higher Renewable Energy Targets in Germany. How Will the Industry Benefit?: Briefings de l'Ifri*. Ifri, 2023. ISBN 979-10-373-0655-5. Dostupné také z: https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/lepesant_renewable-energy_germany_janv2023.pdf
- [93] *European Commission: 2023 Annual Single Market Report: Single Market at 30* [online]. Brussels: EU, 2023 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://single-market-economy.ec.europa.eu/system/files/2023-01/ASMR%202023.pdf>
- [94] *Energy Monitor: What the closure of Germany's only wind blade factory says about its energy transition* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.energymonitor.ai/tech/renewables/what-the-closure-of-germanys-only-wind-blade-factory-says-about-its-energy-transition/>
- [95] IEA: *World Energy Employment* [online]. Paris: IEA, 2022 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/world-energy-employment>
- [96] *SolarPower Europe: EU Solar Jobs Report 2022*. Brussels, 2022. ISBN 9789464518689. Dostupné také z: https://api.solarpowereurope.org/uploads/SPE_EU_Solar_Jobs_Report_September_2022_5925da42fc.pdf?updated_at=2022-09-20T14:05:03.808Z
- [97] *Gas for climate: Facilitating hydrogen imports from non-EU countries* [online]. Utrecht: Guidehouse Netherlands B.V, 2022 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2022/10/2022_Facilitating_hydrogen_imports_from_non-EU_countries.pdf

- [98] SVARC, Jason. *Clean energy reviews: Most Powerful Solar Panels 2023* [online]. 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-powerful-solar-panels>
- [99] *European Commission: The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism explained* [online]. Brussels: EU, 2020 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_24
- [100] *McKinsey & Company: Net-Zero Europe Decarbonization pathways and socioeconomic implications* [online]. Visual Media Europe, 2020 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/how-the-european-union-could-achieve-net-zero-emissions-at-net-zero-cost#/>
- [101] *Umweltbundesamt: Klimaneutral bis 2050: Erreichbar und bezahlbar* [online]. Berlin, 2021 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/climate-neutrality-by-2050-achievable-and-affordable>
- [102] *Federal Ministry of Finance: German Draft Budgetary Plan 2023* [online]. Berlin: Division L B 3, Public Relations and Civic Dialogue, 2022 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/EN/Standardartikel/Press_Room/Publications/Brochures/german-draft-budgetary-plan-2023.pdf?blob=publicationFile&v=2
- [103] KRČÁL, Jan. *Fakta o klimatu: Jaké cesty mohou dovést Česko k bezemisní elektrině?* [online]. 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/bezemisni-energetika-cr-1-scenare#zdroje>
- [104] *IEA: Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector* [online]. Paris: IEA, 2021 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf
- [105] LIEBENSTEINER, Mario a Fabian NAUMANN. Can carbon pricing counteract renewable energies' cannibalization problem?. *Energy Economics*. 2022, **115**, 106345. ISSN 0140-9883. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106345>
- [106] LOTT, Melissa, Sang-Il KIM, Cecilia TAM, David ELZINGA, Steve HEINEN, Luis MUNUERA a Uwe REMME. *Technology Roadmap: Energy storage: Energy storage*. 2014/03/19.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
E_{max}	<i>TWh/rok</i>	Teoretické maximum výroby z 1 GW instalovaného výkonu
η_{celk}	%	Celková účinnost výroby vodíku
η_{ele}	%	Účinnost elektrolýzy vodíku
η_{skl}	%	Účinnost skladování vodíku
CO_2eq		Ekvivalent oxidu uhličitého
AEA		Annual emission allocations
AV ČR		Akademie věd České republiky
CAES		Compressed Air Energy Storage
CBAM		Carbon Border Adjustment Mechanism
CCS		Carbon Capture and Storage
COP		Coefficient of Performance
CNG		Compressed Natural Gas
EED		Energy Efficiency Directive
EIA		Environmental Impact Assessment
ESR		Effort Sharing Regulation
ETD		Energy Taxation Directive
ETS		Emissions Trading System
EU		Evropská unie
GWP		Global Warming Potential
HDP		Hrubý domácí produkt
HFC		Fluorované uhlovodíky
IEA		International Energy Agency
LNG		Liquefied Natural Gas
LTS		Long-Term Strategy
LULUCF		Land Use, Land Use Change, and Forestry
NECP		National Energy and Climate Plan
OZE		Obnovitelné zdroje energie
P2X		Power-to-X
PRMR		Prostorový metr rovnání
RED		Renewable Energy Directive